



Кубанский государственный
аграрный университет им. И. Т. Трубилина

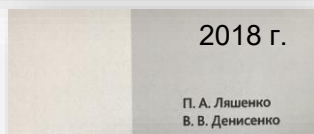
Лекция 10 по дисциплине: «Основания и фундаменты сооружений» Специальность - 08.05.01 Строительство уникальных зданий

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



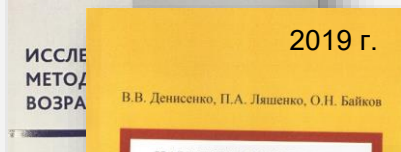


Монографии, научно-практические пособия



2018 г.

П. А. Ляшенко
В. В. Денисенко



2019 г.

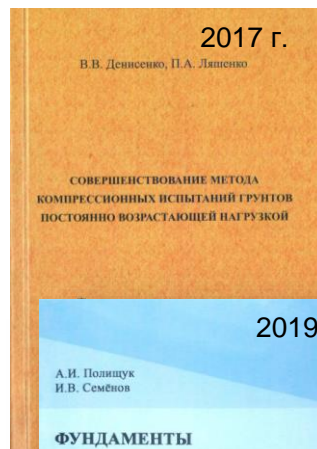
В.В. Денисенко, П.А. Ляшенко, О.Н. Байков



2019 г.

В.В. Денисенко, П.А. Ляшенко

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ
ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ
ИСПЫТАНИЯ ГРУНТОВ



2017 г.

В.В. Денисенко, П.А. Ляшенко

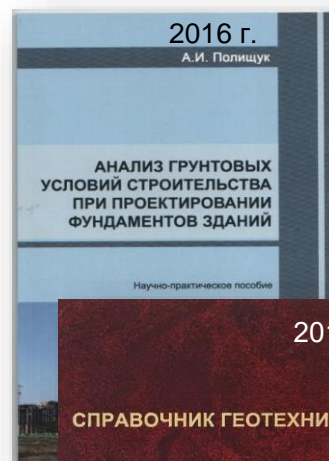
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА
КОМПРЕССИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ ГРУНТОВ
ПОСТОЯННО ВОЗРАСТАЮЩЕЙ НАГРУЗКОЙ



2019 г.

А.И. Полищук
И.В. Семёнов

ФУНДАМЕНТЫ
МЕЛКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ
ДЛЯ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ

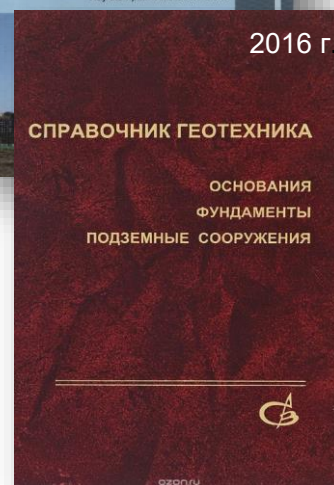


2016 г.

А.И. Полищук

АНАЛИЗ ГРУНТОВЫХ
УСЛОВИЙ СТРОИТЕЛЬСТВА
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ
ФУНДАМЕНТОВ ЗДАНИЙ

Научно-практическое пособие



2016 г.

СПРАВОЧНИК ГЕОТЕХНИКА

ОСНОВАНИЯ
ФУНДАМЕНТЫ
ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

4

Монографии

1

Справочник

2

Научно-практических пособия

Общие положения

Структурно-неустойчивыми называют грунты, которые при некоторых внешних воздействиях (замачивание, промерзание, оттаивание и др.) резко, коренным образом изменяют свою структуру, что вызывает в них значительное увеличение сжимаемости (деформируемости) и уменьшение прочности. В обычных природных условиях (без внешних дополнительных воздействий) такие грунты являются устойчивыми. К структурно-неустойчивым грунтам относятся (Н. А. Цытович, 1963):

- слабые водонасыщенные глинистые грунты;
- лессовые просадочные грунты;
- набухающие грунты;
- засоленные грунты;
- заторфованные грунты;
- мерзлые и вечномерзлые грунты;
- рыхлые пески;
- насыпные грунты и другие.

В природном состоянии практически все эти грунты обладают структурными связями, которые при дополнительных **внешних воздействиях** оказывают существенное влияние на их свойства. Поэтому при проектировании фундаментов зданий, сооружений на структурно-неустойчивых грунтах необходимо учитывать их свойства.

Структурно-неустойчивые грунты имеют **широкое распространение** на территории России и других стран. Они распространены в определенных географо-климатических регионах. Поэтому их часто называют **региональными грунтами**. Условия строительства зданий, сооружений на таких грунтах относят к региональным или особым.

Специальные условия строительства на структурно-неустойчивых грунтах отражены в многочисленных **научно-практических и учебно-методических пособиях, рекомендациях и указаниях**, а также **Справочнике геотехника: основания, фундаменты и подземные сооружения** (под ред. В. А. Ильичева и Р. А. Мангушева), 2016; Учебнике для вузов: **Основания и фундаменты** (авторы Р. А. Мангушев, И. И. Сахаров), 2019; Научно-практических пособиях: **Анализ грунтовых условий** строительства при проектировании фундаментов зданий (автор А. И. Полищук), 2016 и **Проектирование и устройство** оснований и фундаментов на просадочных грунтах (авторы В. И. Крутов и др.), 2013 и другие.

В настоящем разделе рассмотрены основы проектирования фундаментов на структурно-неустойчивых грунтах. Более полные сведения приведены в указанных выше источниках, а также в работах **Н. А. Цытовича, С. С. Вялова, Б. И. Далматова, М. Ю. Абелева, В. И. Крутова, П. А. Коновалова, Е. А. Сорочана и других.**

Фундаменты на слабых водонасыщенных грунтах.

Слабые водонасыщенные глинистые грунты – это грунты, имеющие коэффициент водонасыщения S_r (степень влажности) более 0,8 ($S_r > 0,8$) и модуль деформации E менее 5 МПа ($E < 5$ МПа) в интервале давлений p , соответствующих для фундаментов обычных гражданских и промышленных зданий. К таким грунтам относятся водонасыщенные супеси, суглинки, глины, илы, ленточные глины и другие пылевато-глинистые грунты текучепластичной и текучей консистенции. Отличительная особенность рассматриваемых грунтов – **высокая влажность** ($S_r > 0,8$) в природном состоянии и **значительная сжимаемость**, которая обычно проявляется крайне медленно.

В условиях природного залегания такие грунты обладают структурными связями, которые оцениваются характеристикой структурной прочности p_{str} . **Структурная прочность** p_{str} – это давление при котором глинистый грунт практически не сжимается и не происходит нарушение его структурных связей. Характеристика p_{str} используется в расчетах оснований фундаментов сооружений на слабых водонасыщенных глинистых грунтах.

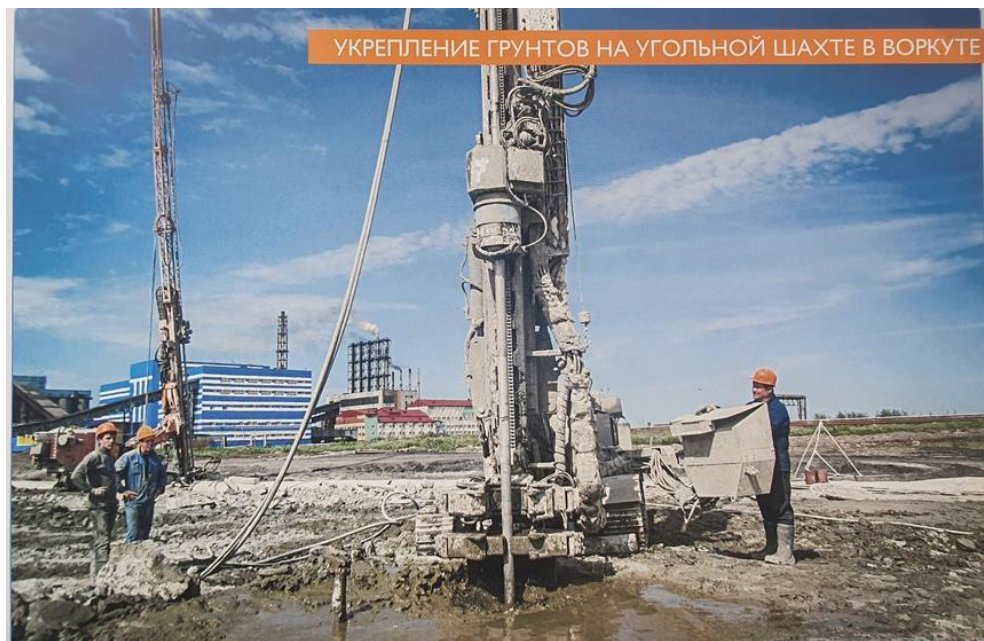
Слабые водонасыщенные глинистые грунты имеют **тиксотропные свойства**, которые проявляются при механических воздействиях (быстром приложении нагрузки, превышающей p_{str}). При этом структурные связи в грунтах разрушаются и резко снижаются характеристики прочности и

деформируемости. Однако с течением времени эти структурные связи, имеющие обратимый характер, восстанавливаются и глинистый грунт приобретает свойства близкие к первоначальному.

Тиксотропия слабых водонасыщенных глинистых грунтов создает большие затруднения при изучении их физико-механических свойств. В процессе отбора забивными грунтоносами образцов слабых водонасыщенных грунтов **часто разрушается их природная структура**. По этой причине всегда существует вероятность того, что лабораторные испытания будут проводиться с грунтами, имеющими более низкие механические показатели, чем в природных условиях. М. Ю. Абелев (1983 г.) приводит примеры подобных ошибок при исследованиях илов в основании Каширской ТЭЦ и ленточных глин северо-западного региона. По вышеизложенной причине в первом случае угол внутреннего трения илов был занижен в три раза, а во втором получены значения модуля деформации порядка 0,5–0,8 МПа вместо 3,5–4,5 МПа.

Рассматриваемые глинистые грунты имеют низкую прочность. Например, у пресноводных илов (сапропелей) угол внутреннего трения φ близок к нулю, а удельное сцепление c изменяется от 0 до 20 кПа. Прочностные характеристики глинистых грунтов (супесей, суглинков, глин) текучепластичных и текучих меняются в пределах: $\varphi = 7\text{--}16^\circ$, $c = 8\text{--}20$ кПа. Приблизительно в этих же пределах находятся характеристики прочности ленточных глин: $\varphi = 12\text{--}19^\circ$, $c = 10\text{--}30$ кПа (М. Ю. Абелев, 1983; С. Б. Ухов и др., 2005).

Техника для струйной цементации грунтов,
используемая предприятием
«ИнжПроектСтрой»



Фундаменты на слабых водонасыщенных грунтах



ГРУНТОЦЕМЕНТНАЯ КОЛОННА ЖЕТ 2. ДИАМЕТР 1800 ММ.

Сущность технологии струйной цементации грунтов заключается в использовании энергии высоконапорной струи для перемешивания грунта с цементным раствором. После твердения образуется новый материал — грунтоцемент, обладающий высокими прочностными и противofiltrационными свойствами. Диаметр грунтоцементных колонн составляет от 500 до 5000 мм.

Технология струйной цементации грунтов позволяет устраивать водонепроницаемые ограждающие конструкции в обводнённых грунтах, в стеснённых условиях, вблизи существующих зданий.

Для предотвращения поступления воды из днища котлована с помощью технологии струйной цементации возможно устройство горизонтальной и вертикальной противofiltrационных завес.

ГРУНТОЦЕМЕНТНАЯ КОЛОННА ЖЕТ 1. ДИАМЕТР 800 ММ.





Фундаменты на слабых водонасыщенных грунтах. Сжимаемость грунтов

Наличие структурных связей обуславливают характерный вид компрессионных кривых для слабых водонасыщенных глинистых грунтов ненарушенной структуры (рис. 6.1). На участке от нуля до p_{str} ее вид **близкий к линейному**, так как слабый водонасыщенный глинистый грунт в этом интервале давлений проявляет незначительную сжимаемость. А при давлении более p_{str} ($p > p_{str}$) зависимость $e = f(p)$ **является нелинейной** и слабый водонасыщенный глинистый грунт на этом участке характеризуется значительной сжимаемостью.

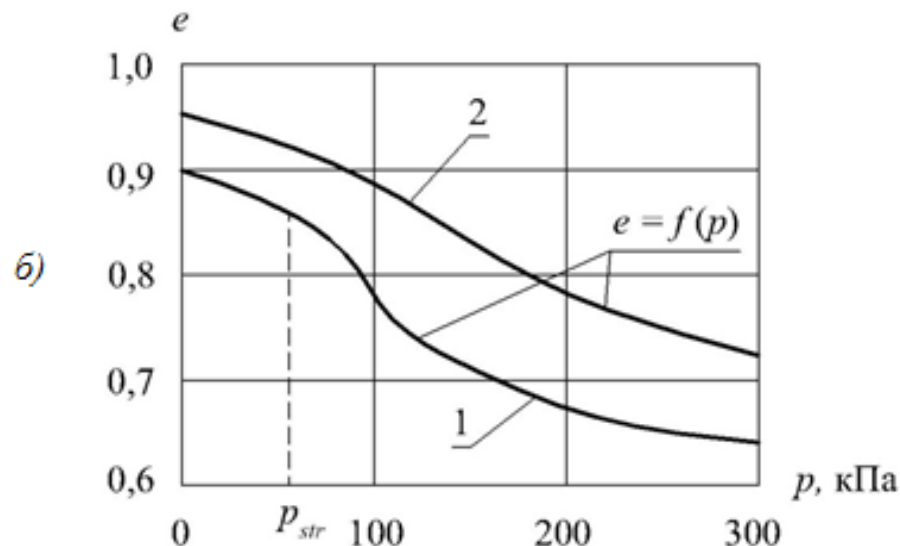
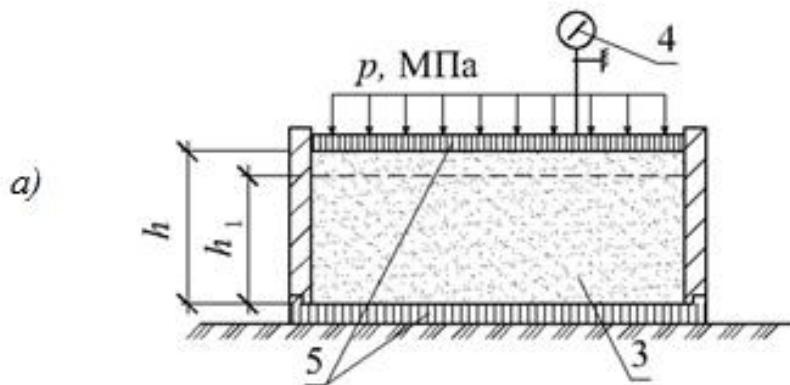


Рисунок 6.1 – Испытания глинистых грунтов в компрессионном приборе:
а – схема испытаний; б – графики компрессионных кривых $e = f(p)$: 1 – для слабого водонасыщенного глинистого грунта (суглинка) текучепластичной консистенции; 2 – для глинистого грунта (суглинок) тугопластичной консистенции; 3 – глинистый грунт; 4 – индикатор для измерения вертикальных перемещений; 5 – перфорированный металлический штамп; h , h_i – соответственно высота образца начальная и после стабилизации осадки от прикладываемого давления p ; e – коэффициент пористости грунта

Фундаменты на слабых водонасыщенных грунтах. Прочность грунтов

Предельное сопротивление сдвигу τ слабого водонасыщенного глинистого грунта описывается зависимостью $\tau = p \cdot \operatorname{tg} \varphi + c$, которая **имеет линейный вид** (рис. 6.2). Эта зависимость наклонена к оси давлений p под углом, соответствующего значению характеристики угла внутреннего трения φ (град.) для глинистого грунта. Особенность рассматриваемой зависимости заключается в том, что угол наклона прямой $\tau = p \cdot \operatorname{tg} \varphi + c$ к оси давлений p невелик и не превышает $\varphi = 7-16^\circ$. Поэтому предельное сопротивление сдвигу τ этих грунтов при давлениях $p < p_{str}$ практически полностью обусловлено сопротивлением структурных связей. Из этого следует, что слабые водонасыщенные глинистые грунты можно рассматривать как **идеально связные**, так как для таких грунтов

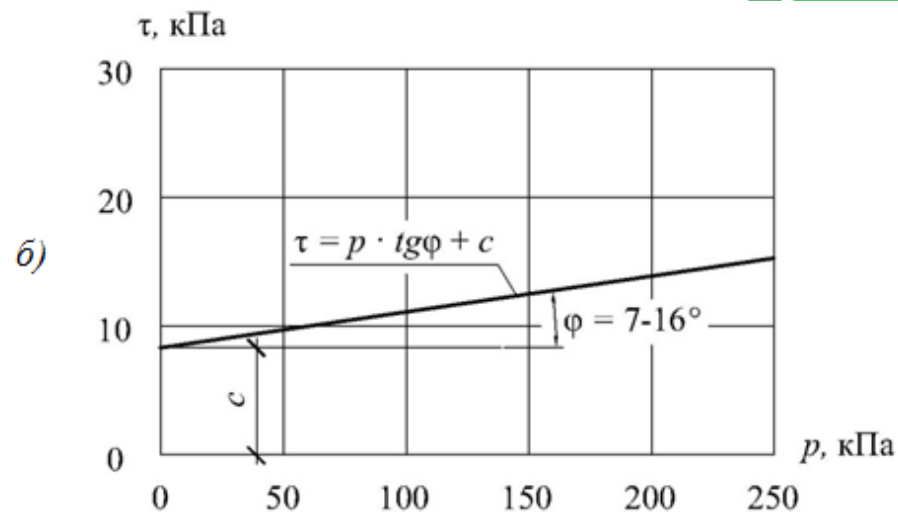
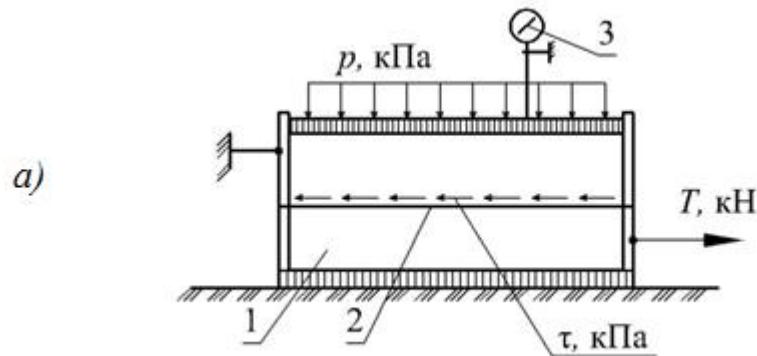


Рисунок 6.2 – Испытания грунтов в сдвиговом приборе:
а – схема испытаний; б – график предельного сопротивления глинистого грунта сдвигу τ ; 1 – слабый водонасыщенный глинистый грунт; 2 – линия среза грунта; 3 – индикатор для измерения вертикальных перемещений; c – характеристика удельного сцепления глинистого грунта; φ – угол внутреннего трения глинистого грунта; T – сдвигающая сила; p – прикладываемое давление; τ – сопротивление сдвигу (касательное напряжение)

Фундаменты на слабых водонасыщенных грунтах

Основные способы строительства

1. Прорезка толщи слабых грунтов. Прорезка толщи слабых грунтов выполняется обычно **сваями**. Если в основании сооружения залегает слой слабых водонасыщенных глинистых грунтов толщиной (мощностью) менее 12 м, то часто применяют фундаменты из забивных свай, полностью прорезающих эту толщу и заглубляемых в подстилающие прочные грунты. При большей мощности слабых грунтов целесообразно использовать буронабивные железобетонные сваи. Для сооружений каркасного типа целесообразно проектировать свайные фундаменты не в виде кустов свай, а устраивать под каждой колонной одну буронабивную сваю с уширением. Свайные конструкции позволяют уменьшить осадки сооружений и повысить их устойчивость. При определении несущей способности свайных фундаментов, прорезающих сильносжимаемые грунты, следует учитывать явление **отрицательного (негативного) трения**.

2. Полная или частичная замена слабых грунтов. Иногда, вместо фильтрующей пригрузки, устраиваемой по всей площади строящегося здания, применяют способ полной или частичной замены грунтов. Для этого устраивают песчаные, гравийные, **песчано-гравийные подушки** для частичной замены слабых водонасыщенных грунтов. Применение подушек позволяет уменьшить давление на подстилающие слабые грунты за счет увеличения площади передачи нагрузки. Кроме того, удастся существенно уменьшить расчетные деформации оснований фундаментов строящихся зданий.

3. Плитные и перекрестные фундаменты. При проектировании фундаментов мелкого заложения на слабых сильносжимаемых грунтах всегда следует предусматривать возможность развития осадок (неравномерностей осадок) медленно протекающих во времени. Для уменьшения абсолютных осадок, а следовательно, и их неравномерностей надо стремиться ограничивать величину передаваемых на основание давлений, применяя **фундаменты с большой опорной площадью**: плиты, балки, перекрестные ленты из монолитного железобетона. Применение таких фундаментов эффективно для выравнивания осадок за счет общей жесткости фундаментных конструкций. При строительстве легких сооружений на таких грунтах целесообразно рассматривать вариант устройства плавающих фундаментов, когда давление под их подошвой не превышает давления от веса вынутого из котлована грунта.

4. Закрепление илов бурсмесительным способом. Такой способ дает возможность преобразовывать строительные свойства илов до необходимых параметров. С этой целью может быть использован метод **высоконапорных инъекций** или струйной технологии. В настоящее время стала использоваться технология глубинного перемешивания грунтов с добавлением вяжущих (технология Deep Soil Mixing). Указанная технология заключается в погружении на расчетную глубину устройства для перемешивания грунта с вяжущим материалом (см. гл. 4).

Фундаменты на слабых водонасыщенных грунтах

Основные способы строительства

5. Устройство котлованов. При устройстве котлованов в слабых водонасыщенных глинистых грунтах должны быть обеспечены *устойчивость их стенок* в процессе производства работ по устройству фундаментов, предохранение грунтов от атмосферных осадков и промерзания, защита грунтов основания от повреждения механизмами и подтопления подземными водами. **Откосы котлованов** назначаются в соответствии с расчетами устойчивости. При глубине котлованов до 2 м угол откоса может быть принят не более 30°. При необходимости крепления стенок котлованов применяют распорки, оградительные щиты и шпунтовые ограждения. При высоком уровне подземных вод для обеспечения устойчивости откосов и создания условий для производства работ используют глубинное водопонижение. Особое внимание следует уделять *водозащитным мероприятиям* при устройстве котлованов в ленточных глинах, имеющих высокую водопроницаемость в горизонтальном направлении. Слабые водонасыщенные глинистые грунты являются *сильнопучинистыми при промерзании*, что следует учитывать на этапе проектирования оснований и фундаментов. При промерзании и последующем оттаивании грунтов значительно уменьшается их прочность и повышается сжимаемость. Поэтому в процессе производства работ грунты стенок и дна котлована должны быть защищены от промерзания в период производства работ до того времени, когда будут засыпаны пазухи фундаментов здания и подвал будет утеплен.

6. Конструктивные мероприятия. При использовании конструктивных мероприятий следует помнить, что *повышение пространственной жесткости здания* уменьшает неравномерность осадок и перераспределяет усилия, возникающие в его элементах. Поэтому предпочтение следует отдавать бескаркасным зданиям, сооружениям простой конфигурации, а для каркасных зданий применять плитные или балочные фундаменты из монолитного железобетона.

Чувствительность строительных конструкций к неравномерным осадкам может быть снижена разрезкой здания на отдельные жесткие отсеки, разделенные **осадочными швами**. Эффективны традиционные способы увеличения пространственной жесткости зданий или их отсеков: устройство армированных швов и поясов в нескольких уровнях в несущих стенах, монолитных железобетонных лестничных клеток и поперечных диафрагм.

Опыт строительства в Санкт-Петербурге на слабых глинистых грунтах показал, что достигаются хорошие результаты по повышению пространственной жесткости кирпичных зданий *при усилении фундаментов и стен железобетонными поясами* и / или армированием кирпичной кладки стен (Р. А. Мангушев и др., 2011, 2018). Нижний железобетонный пояс выполняют в уровне верха монолитных (сборных) лент фундаментов, затем следующий пояс – по верхнему обрезу фундаментов, а последующие – через этаж. Если вместо внутренних стен предусмотрены столбы, то они должны покоиться на ленточных монолитных железобетонных фундаментах, а на уровне поясов в стене должны быть связаны железобетонными балками. Чувствительность конструкций к неравномерным осадкам может быть снижена разрезкой здания на *отдельные жесткие блоки осадочными швами*.

ОГРАЖДЕНИЕ КОТЛОВАНА





Фундаменты на слабых водонасыщенных грунтах

Укрепление насыпей и стенок котлованов грунтовыми анкерами (предприятие «ИнжПроектСтрой»)

ГРУНТОВЫЕ НАГЕЛИ

Укрепление насыпей

Нагельное крепление представляет собой геотехническую конструкцию, предназначенную для обеспечения устойчивости оползнеопасных участков склона и крутонаклонных откосов и выемок путем укрепления грунтового массива системой грунтовых нагелей. Под грунтовым нагелем подразумевается буроналивная свая с сердечником из трубчатой винтовой стальной штанги малого диаметра (наружный диаметр штанги не более 52 мм).

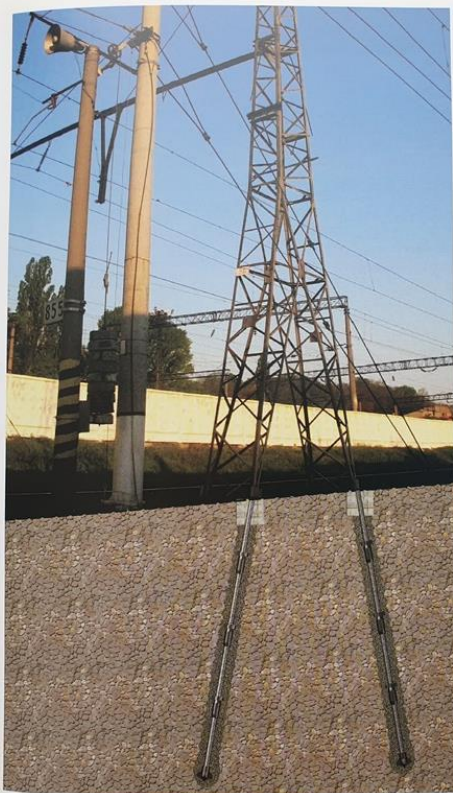
ГРУНТОВЫЕ АНКЕРА



СОЧИ. ДОРОГА К ОЛИМПИЙСКИМ ОБЪЕКТАМ

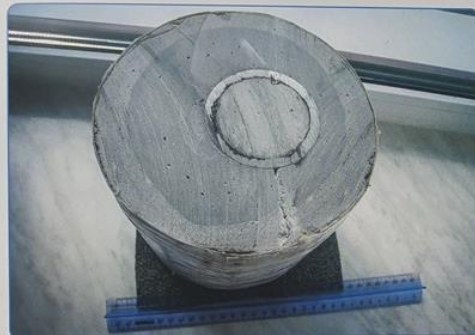
Фундаменты на слабых водонасыщенных грунтах

Свайные фундаменты «Атлант» под знакопеременные нагрузки (предприятие «ИнжПроектСтрой»)



Свайные фундаменты, работающие на выдергивающие нагрузки

Буроинъекционные сваи хорошо работают на выдергивающие нагрузки и могут использоваться для выполнения свайных фундаментов для опор контактной сети, башенных сооружений.

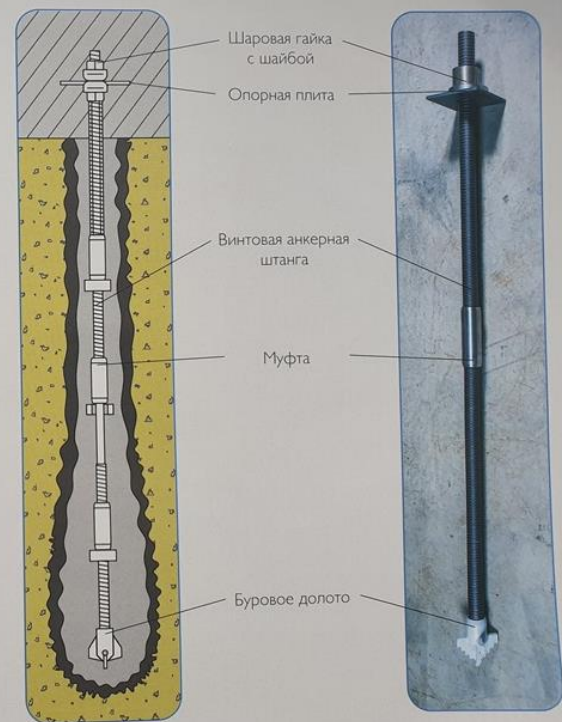


СВАЯ АТЛАНТ В РАЗРЕЗЕ

Сущность технологии устройства свай Атлант заключается в совмещении операций бурения и цементации. При этом используются специальные полые буровые штанги, которые по окончании бурения остаются в теле сваи в качестве армирующего элемента.

Диаметр сваи Атлант составляет 150–600 мм (по технологии Атлант Jet).

Анкерные штанги Атлант, а также прядевые анкера, производит предприятие «Анкерные системы», входящая в нашу группу компаний.





БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ!

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