

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ МНОГОЛОПАСТНЫХ ВИНТОВЫХ СВАЙ «BAU» В УСЛОВИЯХ МОРОЗНОГО ПУЧЕНИЯ ГРУНТОВ

ной площадки были подтверждены их пучинистые свойства.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные экспериментальные данные позволили сделать следующие выводы:

1. Винтовые сваи «BAU» подтвердили свою эффективность в грунтовых условиях г. Барнаула при воздействии сил морозного пучения. При проведении полевых испытаний винтовых свай «BAU» наблюдения за деформациями свай от действия сил морозного пучения показали, что разница между начальными измерениями (при минимальных отрицательных температурах) и последующими измерениями деформаций (при максимальных отрицательных температурах) находится в пределах ошибки измерений.

2. Методика действующих российских нормативных документов требует корректировки для винтовых свай «BAU», поскольку не учитывает действительный характер работы свай данного типа в условиях морозного пучения грунтов основания.

3. Полученные экспериментальные данные уже сейчас позволяют судить о характере работы данного типа свай в различных геологических условиях.

4. Винтовые сваи «BAU» эффективно противостоят силам морозного пучения и могут успешно эксплуатироваться в зимних условиях при строительстве зданий и сооружений.

5. В настоящее время результаты проведенных исследований используются для составления и утверждения на региональном и всесоюзном уровне рекомендаций по проектированию винтовых свай «BAU» в условиях морозного пучения грунтов.

*Цысь Д.И. - аспирант, Носков И.В. – к.т.н., профессор, E-mail: noskov.56@mail.ru, Алтайский государственный технический университет; Криворотов А.П. – д.т.н., профессор, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет.*

УДК 624.131.411.002.35

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДОБАВОК ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ ГРУНТОВ В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВИЯ СИЛ МОРОЗНОГО ПУЧЕНИЯ

Б.М. Черепанов

*В статье представлены результаты исследований влияния добавок для стабилизации грунтов в условиях действия сил морозного пучения в период с 2008 по 2011 гг. Построены зависимости относительной деформации пучения лёгких суглинков с добавками и без, от напряжения.*

*Ключевые слова: морозное пучение грунтов, стабилизация грунта, физико-механические свойства грунта, степень пучинистости грунтов.*

### ВВЕДЕНИЕ

Пучение грунтов является сложным явлением, которое часто приводит к непредсказуемым последствиям при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений. Деформации пучинистых грунтов приводят к недопустимым перемещениям и серьезным повреждениям зданий, покрытий автомобильных дорог и аэродромов, смещениям опор мостов, трубопроводов и т.д.

Недоучет морозного пучения грунтов в строительстве, а также несвоевременное назначение противопучинных мероприятий наносят огромный ущерб народному хозяйству: снижают сроки и ухудшают условия эксплуатации сооружений, вызывают непроеизводи-

тельные затраты труда, строительных материалов и финансовых средств. Особенно явление морозного пучения опасно, когда вспучивание грунта происходит неравномерно. За несколько зимних сезонов фундамент поднимается и опускается несколько раз, в результате чего он перекашивается, что в свою очередь сказывается на стенах и перекрытиях. Перекосившиеся стены, деформированные перекрытия теряют свою прочность и здание становится аварийным. Наиболее опасны эти явления, когда уровень грунтовых вод расположен выше точки промерзания грунта. Обилие влаги многократно увеличивает объемы морозного пучения, разрушительная сила которого огромна.

Проблема борьбы с морозным пучением особенно актуальна для Алтайского края, где значительна доля грунтов, проявляющих пучинистые свойства, и имеет место глубокое сезонное промерзание грунтов.

В данной статье мы рассматриваем один из методов борьбы с морозным пучением – использование добавок для стабилизации грунтов. Областью применения добавок может являться: строительство дорог федерального значения, парковок, складских помещений; строительство экономических временных и вспомогательных дорог; строительство искусственных озер, прудов и других водоемов; строительство полигонов захоронения отходов; строительство гидротехнических сооружений (дамбы, каналы); устройство оснований под фундаменты.

### ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Применение укрепленных стабилизаторами грунтов и других местных материалов в дорожных одеждах автомобильных дорог является одной из наиболее реальных возможностей снижения стоимости строительства и затрат ресурсов. Помимо экономической эффективности конструктивные слои из укрепленных грунтов обеспечивают более длительное сохранение ровности покрытия и способствуют улучшению водно-теплового режима земляного полотна.

За счет разложения воды и активного ионного обмена уменьшается толщина пленок воды на поверхности грунтовых агрегатов, разрушается электростатический потенциальный барьер в грунтовой системе. Органические ионы, содержащиеся в стабилизаторе, проникают внутрь кристаллической решетки глинистых минералов и вытесняют оттуда ионы  $H^+$  и  $OH^-$ , катионы металлов, способствуя более прочной связи между пакетами кристалла. Органические катионы, обладающие способностью к ионному обмену, зачастую вступают в прочную ионную связь с минеральной поверхностью, вытесняя молекулы воды и нейтрализуя заряды. В результате перечисленных процессов происходит агрегирование грунта, снижается его оптимальная влажность, повышается плотность, прочность и водостойкость.

Среди великого множества различных грунтовых добавок можно выделить такие, как стабилизаторы грунта «Consolid» и «Solidry». Использование добавок системы «Consolid 444/Solidry» приводит к необратимой агломерации мелких частиц и, таким образом, к уменьшению активной поверхности

грунта. Обволакивающая водная плёнка разрушается и активизирует природное связывающее свойство грунта. Содержание влаги в грунте, особенно ее капиллярная насыщенность, уменьшается и полностью прекращается. Применение добавок в дорожном строительстве приводит к тому, что стабилизированный грунт практически теряет свою способность набирать воду, что приводит к постоянно увеличивающейся плотности грунта за счёт проезда транспорта и эффект Системы «Consolid» остается необратимым.

Преимущества использования добавок системы «Consolid 444/Solidry»:

1) ускорение процесса превращения грунта в камень при помощи каталитических реакций, активизируя практически любой тип грунта добавками системы «Consolid», и вовлекая грунт в процесс изменения его свойств;

2) использование сочетания двухкомпонентных добавок для достижения искомой степени стабилизации грунта, задавая требуемые параметры на стадии обработки образцов грунта в лабораторных условиях;

3) возможность использования пылеватых грунтов для создания стабильных слоев;

4) уменьшение водонасыщения обработанного грунта вплоть до полной водонепроницаемости (практически полное отсутствие капиллярного подъема воды) ведет к увеличению допустимых нагрузок на дорогу.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

За период с 2008 по 2011 гг. в лаборатории кафедры «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия» (ОФИГиГ) Алтайского государственного технического университета имени И.И. Ползунова (АлтГТУ) были проведены исследования пучинистых свойств грунтов Алтайского края. Образцы грунта для этих испытаний были отобраны с участков автомобильных дорог следующих направлений: «Бийск – Мартыново – Кузеево», «Алтай – Кузбасс», «Бийск – Соколово – Акутиха», «Бийск – Карабинка – гр. Республики Алтай», «Мартыново – Тогул – Залесово». Глубина выработок составила от одного до двух метров (рисунок 1). Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов грунта производилось в соответствии с ГОСТ 12071-84 [2].

Испытания проводились на образцах грунта ненарушенного сложения с природной влажностью и на искусственно приготовленных образцах с заданной плотностью и влажностью, значения которых устанавливались

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДОБАВОК ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ ГРУНТОВ В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВИЯ СИЛ МОРОЗНОГО ПУЧЕНИЯ

программой испытаний в зависимости от возможных изменений водно-теплового режима в процессе строительства и эксплуатации сооружения.



Рисунок 1 – Отбор проб грунта из дорожной насыпи для лабораторных исследований

На кафедре ОФИГиГ АлтГТУ было изготовлено оборудование для экспериментальных исследований.

Смоделированная экспериментальная установка прибора по определению параметров пучения грунтов в лабораторных условиях представляет собой автоматизированный комплекс, состоящий из единичных элементов морозильной установки 355K, четырехканального термодата 19E2, преобразователя интерфейса, приборов морозного пучения (2 шт.), других регулирующих и сопутствующих элементов. Непосредственно «приборы морозного пучения» спроектированы и изготовлены при полном соблюдении требований ГОСТ 28622-90 «Метод лабораторного определения степени пучинистости».

Конструкция прибора позволяет нагружать образец грунта вертикальной нагрузкой (начальная нагрузка), которая моделирует нагрузку от собственного веса выше расположенных слоев грунта.

Образец грунта (монолит или образец нарушенного сложения) изначально погружается в обойму, состоящую из пяти колец, внутренняя поверхность которых предварительно покрыта морозоустойчивой смазкой (литол). Несколько колец сделано для того, чтобы уменьшить силы трения, возникающие между боковой поверхностью образца грунта и внутренней поверхностью колец за счет их раздвижки во время деформации грунтового образца. Кольца выполнены из материала с низкой теплопроводностью (капралон). Образец грунта (в кольцах) погружается во внеш-

нюю цельную обойму, выполненную из такого же материала и смазанную по внутренней поверхности так же для уменьшения сил трения. Весь образец в обойме устанавливается в прибор. Корпус прибора выполнен из среднетяжелого пенопласта. Он служит теплоизоляционным кожухом, препятствующим попаданию холода через стенки и низ конструкции. Конструкция прибора позволяет промораживать образец сверху вниз. Фиксация деформаций образца осуществляется с помощью индикаторов (мессур). Общий вид приборов приведен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Приборы пучения (общий вид)

Разработанная установка позволяет регулировать температурный режим в морозильной камере, где установлены приборы пучения, в зависимости от того, какая температура промерзания грунтов прослеживается в районе отбора образцов грунта. Температура может быть задана постоянная, например «минус 4° С», как рекомендуется в нормативных документах. Также, существует возможность отслеживать температуру по нижнему и верхнему обрезу образца грунта. Данные синхронизированы с компьютером (рисунок 3). Всего при испытании образцов грунта применялось по два-три цикла замораживания, чередующихся с циклами оттаивания.

Всего за период с 2008 по 2010 гг. было проведено 9 опытов, восемь из них (опыты № 1-8) были параллельными, т.е. одновременно в морозильной камере испытывалось по два идентичных образца грунта: один образец грунта испытывался без добавок и второй с введением добавок (опыты № 1-4), а также для образцов грунта со стабилизаторами - одновременно с применением пригрузов и без них (опыты № 5-8). Параллельные испытания проводились для исследования поло-

жительного влияния стабилизаторов и действия нагрузок на пучинистые свойства грунта.



1 датчик – регулирование температуры в морозильной камере; 2 датчик – температура по нижнему обрезу образца грунта; 3 датчик – температура по верхнему обрезу образца; 4 датчик – температура в лаборатории

Рисунок 3 – Показания термомата

В опыте № 1 в грунт ввели добавки «Consolid444» и «Solidry», количество которых составило 1% от массы грунта, что не привело к желаемым результатам, относительная деформация пучения не уменьшилась. В опыте № 2 увеличили количество добавок до 2% от массы грунта, при этом удалось снизить степень пучения. Схожие данные опыта № 2 и № 3 являются подтверждением правильности подбора количества добавок. В связи с этим дальнейшие испытания проводились с введением стабилизаторов в количестве 2% от массы грунта.

Для образцов грунтов с добавками (опыты №№ 5-8) дополнительно использовали пригрузки, что позволило более чем в два раза снизить степень пучинистости. Использование пригрузов различной массы позволяет проследить влияние напряжений на величину пучения.

В 2011 году дополнительно было проведено ещё 18 опытов, из них 8 опытов с суглинком легким (опыты №№10-13, 24-27), 6 опытов с суглинком тяжелым (опыты №14 - №18) и 5 опытов с супесью (опыты №19 - №23). Для суглинков легких число пластичности находилось в пределах от 9 до 12, для суглинков тяжелых – в пределах от 12 до 16,5. Отбор производился с глубины 0,5 – 1,2 м. Испытания проводились при оптимальной влажности грунта, которая составляла для разных образцов 16%, 18%, 20%.

Опыты №11, №12, №14, №20, №21, №23 проводились без применения пригрузов, а остальные опыты – с пригрузами 13 кг или 15 кг. Испытания с использованием пригрузов проводились для подтверждения их положительного воздействия на снижения пучинистых свойств грунта. Применение пригрузов различной массы позволяет проследить влияние предварительных напряжений на величину пучения.

По итогам испытаний были построены графики зависимости величины вертикального перемещения грунта от времени. Пример такого графика приведен на рисунке 4.

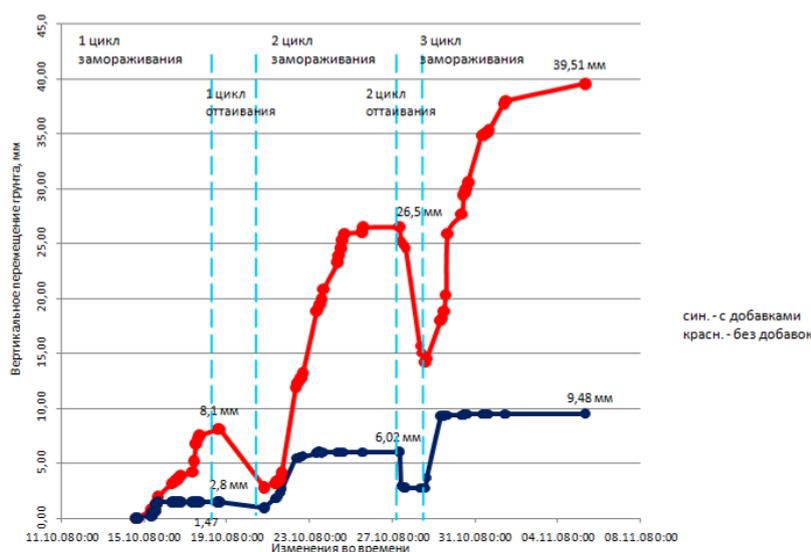


Рисунок 4 - График зависимости величины вертикального перемещения грунта от времени. Опыт №2

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам проведения лабораторных исследований можно судить о следующем: грунт при промораживании теряет структурную прочность, т.к. существенный подток влаги разрушает связь частиц грунта, полученную при его уплотнении. Немаловажную роль здесь играет связанная вода, которая находится у поверхности частиц грунта. Однако, при введении добавок этот процесс значительно замедляется, как было описано выше, при введении стабилизаторов происходит деполаризация молекул воды.

Грунт с введенными стабилизаторами имеет меньшее количество пор и связанной воды. Грунт, который имеет в своем составе комплекс добавок, промерзает в значительной степени медленнее, чем грунт без добавок. Это объясняется наличием у грунта без введенных добавок большего количества связанной воды. Так, например, из рисунка 4 видно, что за период с 15 по 19 октября вертикальное перемещение грунта без добавок составило 8,1 мм, в то время как для грунта с добавками – 2,8 мм (1-ый цикл замораживания); с 21 по 27 октября вертикальное перемещение грунта без добавок – 26,5 мм, а с добавками – 6,02 мм (2-ой цикл замораживания); с 29 октября по 6 ноября вертикальное перемещение грунта без добавок – 39,51 мм, а с добавками – 9,48 мм.

На основе проведенных лабораторных исследований можно сделать некоторые выводы.

При сравнении значений относительной деформации пучения, можно проследить, что степень пучинистости образцов грунта с применением добавок уменьшается, т.е. уменьшается активность пучения. При испытаниях

образцов с применением стабилизаторов с пригрузом происходит еще более эффективное снижение степени пучинистости грунта. Например, из опыта № 2 видно, что относительная деформация пучения для грунта без добавок составила 0,263, а грунта с добавками – 0,063, т.е. грунт перешел от чрезмернопучинистого к среднепучинистому. В опыте №6 для грунта с добавками и без пригруза относительная деформация пучения равна 0,058, а для грунта с добавками и с пригрузом – 0,026, т.е. по степени пучинистости грунт изменил свои свойства от среднепучинистых до слабопучинистых.

На основании изложенных данных можно судить об эффективности стабилизаторов грунта (на примере добавок «Consolid», «Solidry»): в лабораторных условиях их введение приводит к снижению степени пучинистости грунта. Применение добавок способствует снижению величины относительной деформации грунта на 67 %.

Из вышеизложенного видно, что наибольшее количество лабораторных исследований грунтов (17 опытов) было проведено с суглинками легкими: без пригрузов и с пригрузами различной массы, причем испытания с введением стабилизаторов проводились только с этими грунтами. Таким образом, результатов испытаний достаточно только для того, чтобы проследить зависимость относительной деформации пучения от предварительного напряжения (с использованием добавок и без них) для лёгких суглинков.

Полученные корреляционные зависимости относительной деформации пучения от предварительного напряжения грунта без добавок и с добавками приведены на рисунке 5.

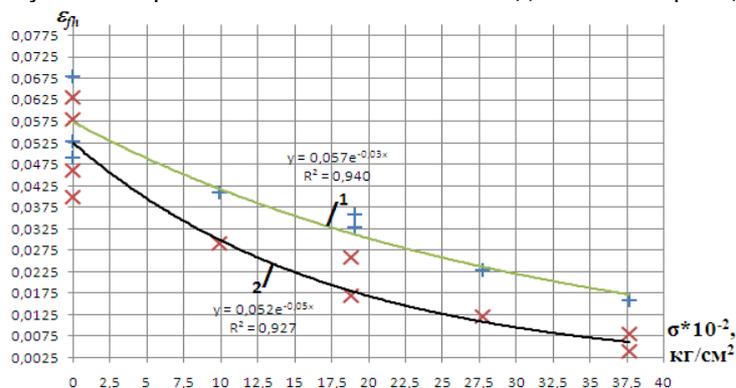


Рисунок 5 - Зависимости относительной деформации пучения от предварительного напряжения для суглинков лёгких.

1 – график зависимости для грунта без добавок, 2 - график зависимости для грунта с добавками

Из рисунка 5 видно, что использование пригрузов различной массы позволяет проследить влияние напряжений на величину пучения (чем больше напряжение, тем ниже значение относительной деформации). При введении добавок для стабилизации грунтов относительная деформация значительно ниже, чем без добавок.

Выведенные нами зависимости можно использовать для определения величины относительной деформации и для классификации грунта по степени пучинистости без проведения полного цикла работ инженерно-геологических изысканий. Это позволит уменьшить финансовые затраты и сроки определения пучинистых свойств грунта (для суглинков легких). В дальнейшем подобные зависимости также можно вывести для всех видов грунта.

#### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1) Введение добавок системы «Consolid 444/Solidry» способствует снижению степени пучинистости грунтов. По результатам анализа полученных значений относительной деформации видно, что при применении стабилизаторов грунт переходит от чрезмерно и сильнопучинистого к средне- и слабопучинистому.

2) Использование пригрузов позволяет уменьшить величину относительной деформации пучения и изменить разновидность грунта от чрезмерно и сильнопучинистого к средне- и слабопучинистому, а от среднепучинистого к слабопучинистому или непучинистому.

3) Величина относительной деформации зависит от массы пригруза. С увеличением пригруза она уменьшается. Сочетание предварительного напряжения (от собственного веса грунта) и стабилизаторов системы «Consolid 444/Solidry» делает грунтовые основания непучинистыми.

4) Полученные зависимости относительной деформации пучения от предварительного напряжения можно использовать для определения степени пучения на стадии проведения инженерно-геологических изысканий.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. ГОСТ 28622-90. Грунты. Метод лабораторного определения степени пучинистости. – М.: Госстандарт, 1990. – 10 с.
2. ГОСТ 12071-2000. Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов. – М.: Издательство стандартов, 2001.
3. Грунтовые смеси, обработанные добавками «Consolid 444», «Solidry», «Conservex» для автомобильного и аэродромного строительства. Технические условия ТУ 5711-001-98983709-2007.
4. Карлов В.Д. Основания и фундаменты на сезоннопромерзающих пучинистых грунтах / Санкт-Петербургский гос. арх.-строит. ун-т. - Санкт-Петербург, 2007. – 362 с.
5. Научно-технический отчет по разработке стандарта предприятия. Расчетные значения характеристик глинистых грунтов земляного полотна для проектирования по условиям морозоустойчивости и прочности нежестких дорожных одежд автомобильных дорог Алтайского края. Этап 3. Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2000.

*Черепанов Б.М. – к.т.н., доцент, Алтайский государственный технический университет, E-mail: bmcher@mail.ru.*