

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ПРОЯВЛЕНИЕ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ В ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ

А.И. Потапов, А.И. Шихов,

Е.Н. Дунаева (Санкт-Петербургский государственный горный университет)

Рассматриваются применяемые в настоящее время методы контроля вечномерзлых грунтов, служащих основаниями зданий и сооружений. Приведены факторы, влияющие на надежность методов диагностики вечномерзлых грунтовых оснований. Показаны данные экспериментальных исследований влияния различных факторов и свойств вечномерзлых грунтов на проявление акустической эмиссии при оттаивании грунтов. С целью повышения надежности контроля грунтовых оснований предложено проведение подробных экспериментальных исследований проявлений акустической эмиссии в различных типах грунтов при оттаивании и определение диапазона температур, при котором данный тип мерзлого грунта способен сохранять свою несущую способность.

Ключевые слова: акустическая эмиссия, неразрушающий контроль, вечномерзлые грунты, свойства грунтов, диагностика основания сооружений, строительство в зоне вечной мерзлоты.

Введение

Большая часть горнодобывающих и перерабатывающих предприятий РФ находится на севере страны, то есть в зоне многолетнемерзлых или вечномерзлых горных пород. При строительстве зданий и сооружений, основаниями для свайных фундаментов которых служат вечномерзлые грунты или горные породы, согласно СП 25.13330.2012. «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах», возможно два варианта использования грунтового основания. По первому принципу грунтовое основание остается в естественном замороженном состоянии и поддерживается в нем на всех этапах строительства и эксплуатации сооружения. Второй принцип предусматривает строительство фундамента на оттаивающем или оттаянном основании и допускает размораживание грунтового массива на любом этапе строительства и эксплуатации сооружения. Применение второго принципа строительства возможно при возведении фундаментов на скальных основаниях или малосжимаемых грунтах, значения осадки которых при размораживании не будут превышать предельных. В условиях крайнего севера РФ наиболее часто применяемым является первый принцип. При возведении оснований по первому принципу необходимым условием является применение мер по поддержанию температурных показателей грунтового массива. Для этих целей возможно применение вентилируемых фундаментов, сезонно действующих охлаждающих систем, вентилируемых труб и сооружение холодных подполий. Подробно меры по сохранению температурных режимов грунтов рассмотрены в [1].

Обзор методов контроля вечномерзлых грунтов

Главный и фактически единственный в настоящее время параметр вечномерзлых грунтов, который в соответствии с требованиями норм в проектах оснований зданий и сооружений обязателен к контролю, — температура. От температурных показателей грунтового массива зависят практически все расчетные характеристики оснований. Контроль температуры происходит с помощью термометрических скважин [1]. С дневной поверхности бурится

пилот-скважина глубже слоя сезонного оттаивания на 50 см. Затем в пробуренную скважину опускается обсадная труба, предназначенная для изоляции скважины от грунтовых вод, после чего скважина бурится до заданной глубины, но с меньшим по сравнению с пилот-скважиной диаметром. Термометрическая скважина оборудуется оголовком, предназначенным для предотвращения попадания атмосферных осадков в скважину и кронштейнами для крепления термомосы и логгера. Непосредственно с помощью термомосы выполняются замеры температуры грунтов, а логгер служит для сбора и передачи, полученной в ходе измерений информации [1]. Несмотря на то, что получаемые данные о температуре грунтов достаточно достоверны, и мониторинг возможен практически в непрерывном режиме, число аварийных ситуаций на предприятиях крайнего севера в настоящее время только растет. Происходит это по ряду причин. Область значительных фазовых переходов воды в мерзлых грунтах находится в диапазоне 1...-5°С, и переход из твердомерзлого в пластично-мерзлое состояния и как следствие частичная или полная потеря несущей способности грунтового основания возможна при незначительном повышении температуры. Вторая и основная причина роста числа аварийных ситуаций при должном температурном контроле вечномерзлых грунтов заключается в том, что грунт в мерзлом состоянии является четырехфазной структурой [2], физико-механические свойства которой зависят от многих факторов. В общем случае мерзлый грунт содержит минеральные частицы, воду, воздух и лед. При отрицательных температурах не вся вода, находящаяся в грунтах, замерзает. На количество незамерзшей воды и температуру ее фазового перехода влияет гранулометрический и минеральный состав грунтов, концентрация и химический состав солей [2]. В свою очередь количество не промерзшей воды значительно влияет на прочностные свойства грунтов.

Наряду с температурным контролем также применяется деформационный контроль оснований сооружений. Одним из его вариантов, является контроль деформаций фундаментов посредством фотоупругих датчиков. На этапе строительства, датчики заклады-

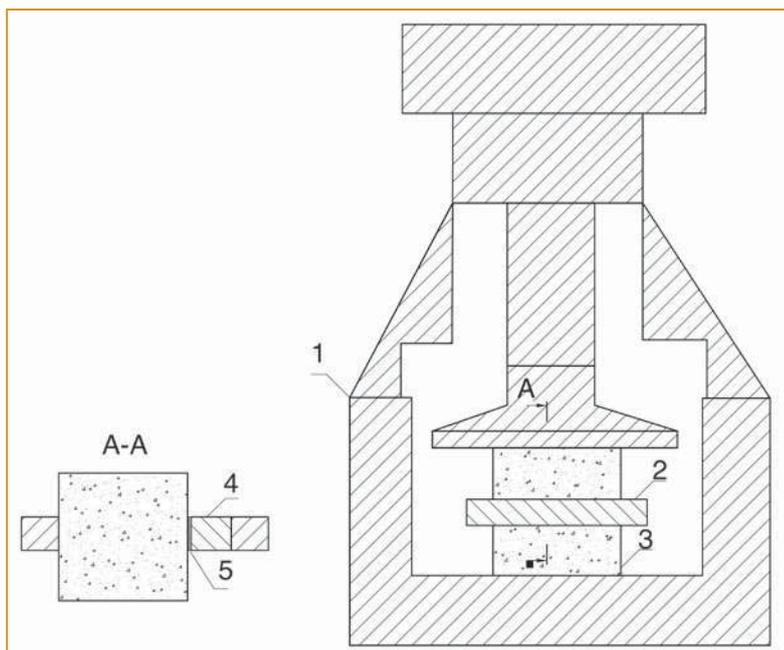


Рис. 1. Экспериментальная установка, где 1 – гидравлический пресс; 2 – магнитная скоба; 3 – испытуемый образец; 4 – датчик акустической эмиссии; 5 – контактный слой вазелина

ваются в несущие конструкции сооружения. Оценка изменения напряженного состояния конструкции осуществляется в соответствии с изменением радиуса интерференционных колец, полученных от фотоупругого датчика [3]. Применение данного метода, позволяет вести непрерывный контроль за состоянием сооружения, но так же как и температурный контроль, не может являться самостоятельным и полностью исключающим аварийность методом. Главным минусом фотоупругих датчиков является то, что они регистрируют деформацию несущих конструкций, которая происходит в следствии деформации фундамента сооружения, причиной которой стали изменения в грунтовом массиве. То есть фотоупругие датчики являются косвенным методом контроля и индикатором уже произошедших изменений в грунтовом массиве.

Возможным решением проблемы диагностики вечномёрзлых грунтовых оснований является применение акустикоэмиссионного контроля. По своей природе акустическая эмиссия представляет собой механические волны, вызванные локальным динамическим изменением в структуре материала [2]. Иными словами это колебания, вызванные ростом или появлением новых трещин, развитием дилатансии при фазовых превращениях воды в грунте, скольжении или трении поверхностей разрыва. Из определения акустической эмиссии следует, что для ее проявления необходимы протекающие в момент регистрации процессы образования трещин. Отсюда можно сделать вывод, что акустическая эмиссия не может быть обнаружена в идеальном кристалле, а также, что наиболее важно, ее пик не может быть выявлен

в массиве, уже потерявшем свою несущую способность, так как в нем уже произошли разрушения, и напряжения в нем спали. Следовательно с помощью акустикоэмиссионного контроля возможна индикация изменений напряженного состояния массива грунта на ранней стадии, до потери грунтовым основанием своей расчетной несущей способности и появления осадок дневной поверхности, что приведет к аварийному состоянию здания и сооружения. Акустический контроль может выполняться как с поверхности, так и посредством межскважинного прозвучивания. В настоящее время установлено, что по параметрам акустической эмиссии возможна оценка состояния, структуры и свойств грунтов. Исследования показали, что на предприятиях горной отрасли метод практически не применялся, хотя контроль состояния вечномёрзлых грунтов необходим.

Обоснуем возможность применения данного метода при контроле вечномёрзлых грунтовых оснований зданий и сооружений посредством определения по параметрам акустической эмиссии образцов мерзлого песка с различной влажностью, а также диапазона температур, при котором данные образцы теряют свою несущую способность.

Описание эксперимента

Объектом исследований являлся песок средней крупности с модулем крупности частиц 2...2,5 мм и крупнозернистый песок с величиной фракции 3...5 мм. Перед заморозкой песок высушивали в печи и помещали в термоусадочные трубки, затем увлажняли образцы по массе на 25% и 15% соответственно. Образцы выдерживались в морозильной камере при температуре -18°C в течение суток. В ходе эксперимента образец помещался в экспериментальную установку, в которой при постоянной нагрузке, обеспеченной гидравлическим домкратом, образец оттаивал. При этом проводились измерения параметров акустической эмиссии образца с помощью измерительной системы, состоящей из цифрового датчика акустической эмиссии и преобразователя интерфейса, подсоединенного к компьютеру через USB порт. Кроме того, непрерывно выполнялись замеры температуры образца с помощью тепловизера. К образцу датчик акустической эмиссии крепился с помощью магнитного прижима, через слой вазелина для обеспечения акустического контакта. Оттаивание наблюдалось до момента потери несущей способности образца, фиксируемого по падению нагрузки на динамометре. Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1.

Характерные результаты экспериментов представлены на рис. 2. Для численного анализа эксперимента

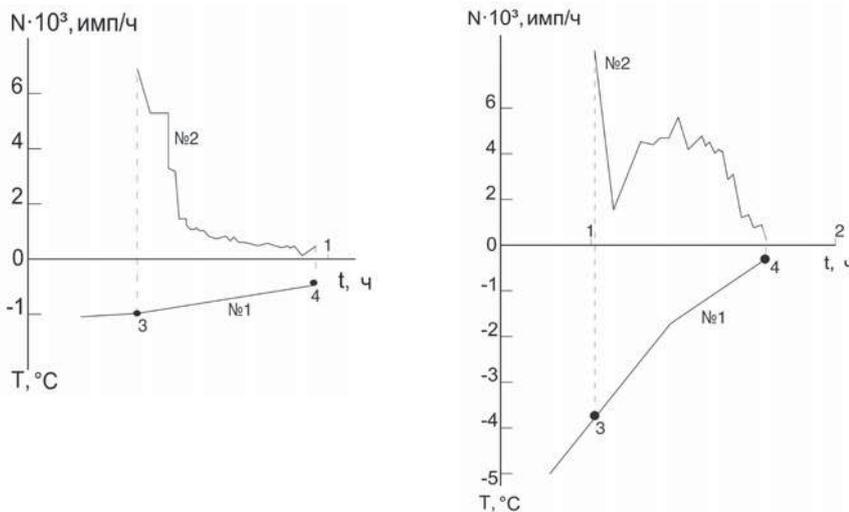


Рис. 2. Графики суммарной акустической эмиссии при оттаивании песка; слева – для крупнозернистого песка с влажностью по массе 15%; справа – для песка средней крупности с влажностью по массе 25%

использовалась суммарная акустическая эмиссия N за интервал времени t .

Разрушения образца, состоящего из крупнозернистого песка, произошло при температуре $-0,5^{\circ}\text{C}$ среднезернистого — при $-0,3^{\circ}\text{C}$. Максимальное значение суммарной акустической эмиссии образца № 2 (правый график) значительно превышает аналогичное значение параметра образца № 1 (левый график). Объясняется это тем, что количественно суммарная акустическая эмиссия зависит от криологических процессов, протекающих в мерзлом грунте, соответственно, чем выше уровень интенсивности креологических процессов, тем выше суммарная акустическая эмиссия образца. В данном случае превышения обусловлено увеличением влажности одного образца относительно другого. Как видно из графиков, пик акустической эмиссии фиксировался до момента потери несущей способности обоих образцов, но при этом температура в момент фиксации кардинально отличалась. Возможным объяснением данного отличия, является то, что для образования акустической эмиссии по определению необходимо трение зерен друг о друга либо образова-

ние новых или рост имеющихся трещин, но так как у чистого песка, то есть песка без включений льда, внутреннее сцепление практически отсутствует, то акустической эмиссии практически неоткуда образовываться. В этом случае определяющим фактором становится ледопородная матрица, а также ее объем и плотность в образце. Так как изначально песок был высушен в печи, навески песка по массе и размерам при заморозке образцов были идентичны, следовательно плотность и объем льда в образце тем выше, чем выше процент его увлажнения.

Выводы

Предварительные испытания показали, что по параметрам акустической эмиссии возможно определение диапазона температур, при котором мерзлый грунт сохраняет свою несущую способность. Кроме того, при использовании данного метода диагностики на раннем этапе оттаивания грунтов можно прогнозировать аварийные ситуации и вовремя применять профилактические меры. Однако испытания также показали, что на данном этапе необходимо проведение более подробных и углубленных экспериментальных исследований для установления четких закономерностей между параметрами акустической эмиссии, температурой и физико-механическими свойствами различных типов вечномерзлых грунтов.

Список литературы

1. Мангушев Р.А., Карлов В.Д., Сахаров И.И. Механика грунтов. Москва: издательство АСВ. 2009.
2. Новиков Е.А., Шкуратник В.А., Ошкин Р.О. Закономерности акустической эмиссии образцов известняка при их замораживании и оттаивании в функции от величины статической механической нагрузки и влагосодержания. Москва. 2015.
3. Грешников В.А., Дробот Ю.Б. Акустическая эмиссия. Москва. 1976.

Потапов Анатолий Иванович — д-р техн. наук, проф.,
Шихов Александр Игоревич — аспирант, **Дунаева Евгения Николаевна** — аспирант
 кафедры приборостроения Санкт-Петербургского государственного горного университета.
 E-mail: apot@mail.ru aleksandr@bk.ru evgenia-dynaeva@mail.ru

Команда ИПУ РАН приняла участие в финальном конкурсе "Аэробот"

В военном инновационном технополисе "Эра" (г. Анапа) завершился финальный этап конкурса Фонда перспективных исследований на лучшее решение в области программно-аппаратного обеспечения для автономного управления беспилотными мультироторными летательными аппаратами (БЛА) "Аэробот".

Конкурс "Аэробот" стартовал в 2017 г., всего на участие в нем были поданы 44 заявки. В финал первого виртуального тура конкурса вышли команды АО "Научно-конструкторское бюро робототехники и систем управления" ("НКБ РИСУ"), Национального Томского политехнического университета, Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН и Московского физико-технического института.

Финальный этап конкурса проходил в марте 2019 г. В ходе соревнований мультироторные БЛА выполняли полеты на специальном полигоне площадью около 200 м^2 , имитирующем разрушенную городскую застройку. Командам заранее не была известна расстановка препятствий, навигация аппаратов осуществлялась за счет средств технического зрения, обработка данных производилась непосредственно на борту БЛА.

Все участники финального этапа соревнований будут приглашены на пятый юбилейный Международный военно-технический форум "АРМИЯ-2019", где проведут показательные полеты с демонстрацией возможностей мультироторных БЛА.

Победители соревнований смогут принять участие в реализации проектов Фонда перспективных исследований в области создания систем автономной навигации для БЛА и наземных робототехнических комплексов.

[Http://www.ipu.ru](http://www.ipu.ru)