УДК 620.179

А.И.ПОТАПОВ, *д-р техн. наук, профессор, apot@mail.ru*
И.В.ПАВЛОВ, *канд. техн. наук, доцент, (812) 328-85-39*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

A.I.POTAPOV, *Dr. in eng. sc., professor, apot@mail.ru*
I.V.PAVLOV, *PhD in eng. sc., associate professor, (812) 328-85-39*
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

АКУСТОЭМИССИОННАЯ ДИАГНОСТИКА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА КРАЙНЕМ СЕВЕРЕ

Рассматриваются существующие методы диагностики разрушения мерзлых оснований горных сооружений при оттаивании. Отмечено, что детектирование начала разрушения мерзлого грунта может осуществляться акустоэмиссионным методом. Рассмотрены принципы построения диагностических систем, которые должны состоять из блоков приема, передачи и обработки информации. С целью повышения надежности диагностики предложено проводить измерения только в узких температурных диапазонах, опасных в отношении оттаивания.

Постановка акустоэмиссионных датчиков на силовые элементы позволяет использовать предложенную диагностическую систему для контроля трещиностойкости железобетонных конструкций и прогнозировать разрушение задолго до наступления аварийных ситуаций.

***Ключевые слова*:** вечная мерзлота, строительство, аварийность, прогнозирование, эксперимент, методика предупреждения катастроф.

ACOUSTIC EMISSION DIAGNOSTICS BUILDINGS MINING COMPANIES IN THE NORTH

The existing methods of diagnostic of destruction of the frozen basis of facilities are esteemed at straight thawing. Is marked, that the detecting of a beginning of destruction of a frozen ground can implement a a-emission method (AE). The principles of construction of diagnostic systems are reviewed, which one should consist of units of a method (reception, acceptance), transfer (transmission) and data processing. With the purpose of a reliability augmentation of diagnostic it is offered to conduct measurements AE only in narrow temperature ranges, dangerous concerning straight thawing.

The statement of a-emission sensors on load-bearing elements allows to use an offered diagnostic system for fracture control of concrete designs and to forecast destruction long before approach of distresses.

***Key words*:** permafrost; construction, breakdown rate, forecasting, experiment, technique of the prevention of accidents.

В зоне вечной мерзлоты находится свыше 60 % территории России. За последние 15 лет площадь регионов с благоприятным для существования климатом сократилась примерно на треть. Повышение температуры приводит к деградации многолетнемерзлых пород и это становится экономической, геополитической и социальной проблемой государственного масштаба.

В последние 20 лет в зоне вечной мерзлоты резко увеличилось число аварий, часто с катастрофическими последствиями. Из-за

роста температур и таяния грунтов ослабляется несущая способность свайных фундаментов, деформируются и разрушаются здания, мосты и трубопроводы. На нефтяных месторождениях Ханты-Мансийского АО из-за деформаций грунта и таяния вечной мерзлоты происходит в среднем 1900 аварий в год, а во всей Западной Сибири – около 7400. На поддержание работоспособности трубопроводов и ликвидацию механических деформаций, связанных с таянием вечной мерзлоты, ежегодно тратится до 55 млрд руб. Между тем, в зоне вечной мерзлоты добывается около 93 % российского природного газа и 75 % нефти, что обеспечивает около 70 % экспорта нашей страны. По одному из самых неблагоприятных сценариев в зону большой вероятности развития разрушительных геоморфологических процессов, связанных с таянием вечной мерзлоты, попадают Ненецкий АО (включая Новую Землю), западные и юго-западные районы Ханты-Мансийского округа (включая Сургут и Нижневартовск), северная часть полуострова Ямал (с Бованенковским месторождением), центральная часть Бурятии (включая Улан-Удэ), практически весь Чукотский АО и побережье Таймыра.

При строительстве на вечномерзлых грунтах часто используется так называемый первый принцип, когда мерзлое состояние основания сохраняется как при строительстве, так и в процессе эксплуатации. Это объясняется как широким распространением в России грунтов, находящихся в твердомерзлом состоянии, так и наличием обширных зон с расчетной сейсмичностью более 7 баллов, где этот принцип является фактически обязательным.

Вместе с тем, аварийность сооружений Севера и Сибири, построенных с использованием первого принципа, весьма высока и, очевидно, будет возрастать ввиду прогнозируемого в ближайшие десятилетия потепления. Поэтому задача диагностики состояния мерзлых оснований сооружений актуальна и требует внимательного изучения.

В настоящее время в соответствии с требованиями норм в проектах оснований и фундаментов на вечномерзлых грунтах предусматривается проведение наблюдений за состоянием грунтов, в том числе и в период эксплуатации [1].

Обязательным наблюдаемым параметром грунта является температура, от которой зависят практически все расчетные характеристики основания.

Проектирование оснований и фундаментов на вечномерзлых грунтах должно включать расчет теплового режима грунтов оснований, а также выбор и расчет устройств и мероприятий, обеспечивающих соблюдение установленного расчетом теплового режима грунтов в основании сооружения в процессе его строительства и эксплуатации [2].

Однако для целей диагностики разрушения мерзлого основания температурный контроль недостаточен. Это объясняется тем, что переход грунта из твердомерзлого состояния в пластичномерзлое, а, следовательно, и развитие недопустимых деформаций проходит в пределах очень малых температурных изменений. Большую информативность обеспечивает геодезическая съемка осадок сооружений, однако этот контроль является дискретным, а аварийные ситуации при локальном протаивании основания развиваются в короткие промежутки времени.

Для решения этой задачи авторами предложено использовать акустоэмиссионный (АЭ) метод, так как установлено, что разрушение структуры мерзлых грунтов сопровождается акустическим излучением достаточной интенсивности, начинающимся за некоторое, иногда достаточно значительное время до потери грунтом несущей способности.

Мерзлый грунт при любой отрицательной температуре представляет собой сложную многофазную систему, всегда содержащую то или иное количество замерзшей воды, прочно скрепляющей между собой частицы грунта и незамерзшей воды в виде электролитов и рассолов. Так как область интенсивных фазовых превращений воды в грунтах весьма узка (чаще всего от +1 до –5 °С), то даже при малом изменении температур (например, для температур в раз-

личных точках протяженного объекта) контроль только температуры часто не дает желаемого результата. Переход грунта из твердомерзлого состояния в пластичномерзлое, а, следовательно, снижение прочности на несколько порядков и развитие недопустимых деформаций проходит в пределах очень малых температурных изменений [3].

Водонасыщенные грунты, особенно мелкодисперсные, при промерзании увеличивают свой объем до 30-40 % от исходной величины. Это явление в литературе часто называется криогенным или морозным пучением. Очевидно, что все эти изменения связаны с изменениями, происходящими во внутренней структуре воды в грунте, и не могут не сопровождаться акустической эмиссией, обусловленной как внутренними источниками в воде, переходящей из одного агрегатного состояния в другое, так и передвигаемыми частицами грунта, что неоднократно отмечалось многими исследователями.

Акустоэмиссионные процессы образования и разрушения морского и озерного льда мало исследованы. Чаще всего исследователи решают задачи применительно к большим массивам льда, находящегося в свободном и квазисвободном состоянии (поверхности морей, рек, озер, айсбергов). В нашем случае вода в процессе образования льда находится в грунтах разного гранулометрического состава, не позволяющих кристаллам расти свободно в разные стороны. Процесс охлаждения обычно идет с одной стороны, с небольшим градиентом температуры. Физико-механические характеристики грунтов могут отличаться на несколько порядков и значительно изменяются в процессе понижения температуры.

К воде насыщающей грунты, чаще всего представляющей собой трудно прогнозируемые растворы щелочей, кислот и солей, более близка морская вода. При промерзании концентрация растворенных веществ в незамерзшей части резко возрастает и при исследовании процесса возникновения акустической эмиссии необходимо рассматривать химические и фазовые превращения с учетом постоянно меняющегося соотношения компонентов.

Как отмечают многие исследователи, субструктура, которая образуется в морском льду, подчеркивается многочисленными жидкими включениями (так называемыми полостями или капиллярами с рассолом).

Если проанализировать фазовую диаграмму близкого к замерзшей грунтовой воде стандартного морского льда, становится очевидным, что после замерзания в воде на микро и макроуровнях постоянно меняются соотношения компонентов, находящихся в разных фазовых состояниях и имеющих резко различимые физико-механические свойства. Кроме льда различного кристаллического строения, это рассол и твердые соли. Изменения в составе компонентов и их взаимовлияние также являются источниками акустической эмиссии.

Изучение этого явления для контроля несущей способности грунтов необходимо, так как оно протекает параллельно изменениям физико-механических свойств грунтов, и кристаллизация солей из рассолов начинается практически сразу после образования льда. Кристаллизация CaCo происходит, начиная с –3 °С; при –8 °С кристаллизуется MgCl, другие соли кристаллизуются при гораздо меньших температурах.

С целью определения возможности прогнозирования оттаивания вечномерзлых грунтов авторами были проведены лабораторные исследования с помощью анализа акустической эмиссии, возникающей при нагружении грунтов.

Лабораторные опыты показали возможность детектирования начала разрушения мерзлого грунта при оттаивании, причем активность АЭ и значения амплитуд сигналов при прочих равных условиях растут с увеличением суммарной льдистости. Данное обстоятельство вполне очевидно, так как высокочастотные составляющие АЭ при оттаивании обусловлены процессами разрушения льда. На рис.1-6 представлены параметры АЭ при оттаивании мерзлых грунтов различных генетических разновидностей и исходной (до начала замерзания) влажности.

При оттаивании фиксируется превышение над уровнем дискриминации как активности событий, так и значений амплитуд.

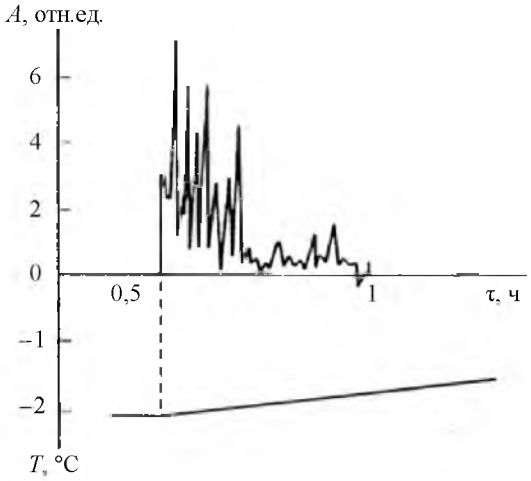


Рис.1. Акустическая эмиссия при оттаивании чистого льда при передаче колебаний к датчику с помощью волновода, наблюдения в полосе частот 0,2-0,5 МГц; A – амплитуда сигнала

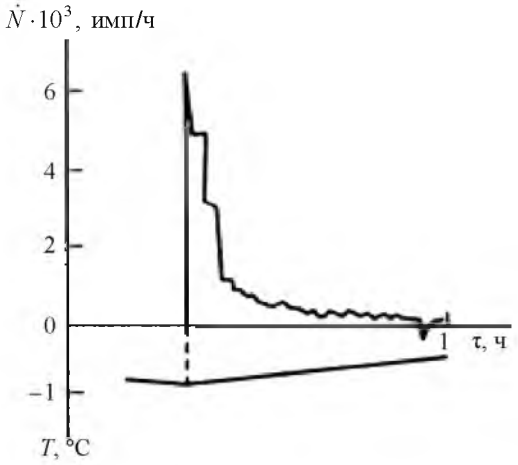


Рис.2. Акустическая эмиссия при оттаивании крупного песка с влажностью 0,20; наблюдения в полосе частот 0,2-0,5 МГц; N – интенсивность событий

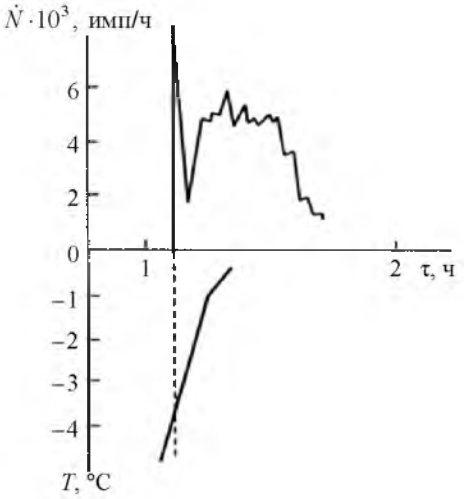


Рис.3. Акустическая эмиссия при оттаивании песка средней крупности с влажностью 0,22, наблюдения в полосе частот 0,02-0,2 МГц

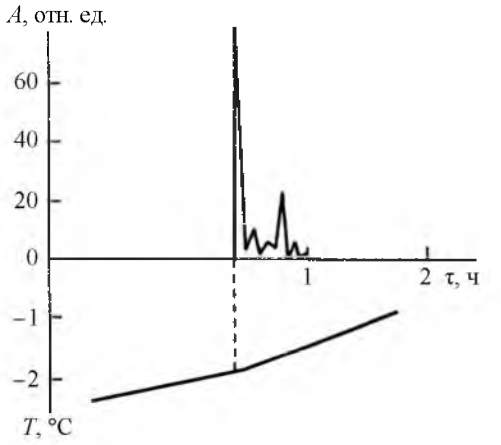


Рис.4. Акустическая эмиссия при оттаивании мелкого песка с влажностью 0,23 при передаче колебаний к датчику с помощью волновода, наблюдения в полосе частот 0,02-0,2 МГц

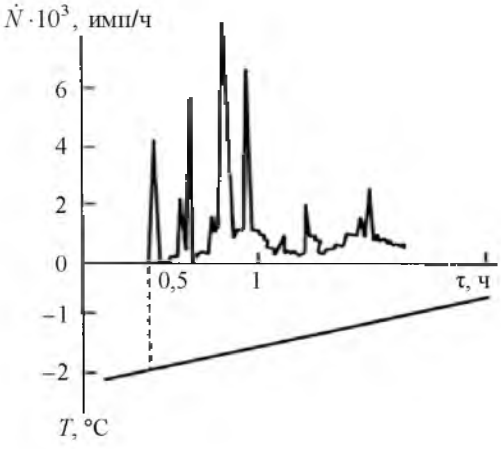


Рис.5. Акустическая эмиссия при оттаивании легкого суглинка с влажностью 0,31, наблюдения в полосе частот 0,02-0,2 МГц

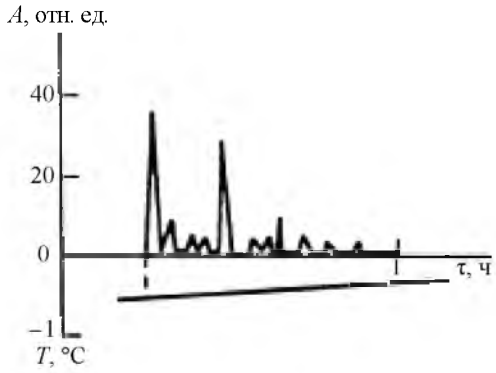


Рис.6. Акустическая эмиссия при оттаивании среднего суглинка с влажностью 0,27 при передаче колебаний к датчику с помощью волновода, в полосе частот 0,02-0,2 МГц

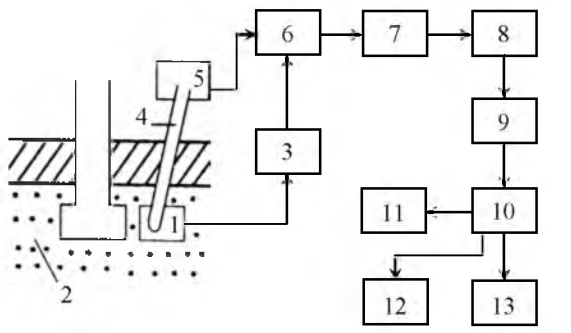


Рис.7. Функциональная схема диагностической станции
1 – температурный датчик (термопары);
2 – вечномерзлый грунт; 3 – предусилитель термопары;
4 – волновод; 5 – пьезодатчик; 6 – предусилитель сигнала акустической эмиссии; 7 – полосовой фильтр со встроенным усилителем; 8 – блок аналого-цифровой обработки сигнала; 9 – запоминающее устройство;
11 – дисплей; 12 – гибкий диск; 13 – сигнальное устройство

В случае прямого использования датчиков большей информативностью обладают значения числа импульсов N, а при использовании волноводов амплитуда импульсов A.

Разработанная методика была проверена в натурных условиях.

Для реализации метода в натурных условиях была предложена система диагностики (рис.7).

Предложенная диагностическая станция может быть использована и для слежения за трещиностойкостью любых железобетонных конструкций, так как позволяет диагностировать образование микротрещин задолго до соединения их в магистральные трещины, ведущие к потере общей несущей способности.

Работа проводилась совместно с кафедрой оснований сооружений Санкт-Петербурской архитектурной академии и при финансировании по гранту Минобразования РФ. На предложенный принцип получен патент РФ 2100806 .

ЛИТЕРАТУРА

1. *Железняк И.И.* Надежность мерзлых оснований сооружений. Новосибирск, 1990. 174 с.

2. Исследование кинетики фазовых превращений воды акустоэмиссионным методом / И.И.Сахаров, И.Ю.Голубев, И.В.Павлов, А.И.Потапов // Журнал физ. химии, 1992, Т.66, № 2. С.555-558.

3. Метод акустической эмиссии в исследованиях подвижки грунтов / Г.Б.Муравин, М.Н.Сигаловский, Е.А.Розумович и др. // Дефектоскопия. 1991. № 11. С.3-17.

REFERENCES

1. *Zheleznyak I.I.* Reliability of Frozen Bases of Structures. Novosibirsk, 1990. 174 p.

2. *Sakharov I.I.*, *Golubev I.Yu.*, *Pavlov I.V.*, *Potapov A.I.* Investigation of Kinetics of Water Phase Transformations Using the Acoustic Emission Technique. Zhurnal fizicheskoy khimii, 1992. Is.66. N 2. P.555-558.

3. *Muravin G.B.*, *Sigalovsky M.N.*, *Rozumovich Ye.A.* et al. Acoustic Emission Techniques in Studies of Soil Movement // Defektoskopiya Journal. 1991. N 11. P.3-17.