

О влиянии свойств насыщающей геоматериалы жидкости на характер их термостимулированной акустической эмиссии

Е. А. Новиков,* М. Г. Зайцев†

*Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Московский горный институт
Россия, 119049, Москва, Ленинский проспект, д. 4
(Статья поступила 29.06.2017; Подписана в печать 12.09.2017)*

Рассматриваются результаты экспериментальных исследований влияния засоленности грунтовых вод на результаты термоакустоэмиссионного контроля состояния ледопородной матрицы, сформированной из этих вод и песчано-глинистого грунта. Показана возможность нивелирования влияния этого фактора на результаты контроля. Подтверждена применимость метода термостимулированной акустической эмиссии для оценки прочностных свойств мерзлого геоматериала при его растеплении и одновременном воздействии механической нагрузки.

PACS: 43.58.+z УДК: 534.6+53.082.4, 551.34+624.042

Ключевые слова: термостимулированная акустическая эмиссия, ледопородное ограждение, растепление, обводненность, засоленность, контроль, помеховые факторы.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время проблему обеспечения безопасности при строительстве горных выработок в обводненных грунтах решают путем их замораживания (создания ледопородного ограждения) и поддержания в таком состоянии вплоть до возведения постоянной гидроизолирующей крепи. Оценка качества ледопородного ограждения (ЛПО) как правило выполняется на основе результатов термометрических [1, 2] и гидрологических (уровень грунтовых вод вблизи ЛПО) измерений. Эти измерения достаточно технологичны и дают интегральную характеристику всего объекта контроля в целом. Однако по сути они являются косвенными, т.е. не позволяют оценить состояния отдельного участка геосреды и напрямую оконтурить границы зон смыкания ЛПО. Реже в дополнение к указанным методам используют методы контроля, основанные на исследовании электрической проводимости [3, 4], диэлектрической проницаемости [5, 6], динамических характеристик [7] и скорости распространения ультразвуковых волн [8, 9] на различных участках ледопородного массива. Это объясняется высокой трудоемкостью реализации этих методов и сложностью однозначной интерпретации получаемой с их помощью информации. В результате описанной выше практики контроль ЛПО носит в значительной степени вероятностный характер, что периодически (см. табл. 1) приводит к нештатным ситуациям и экономическим потерям.

Таким образом вопрос создания относительно дешевых в реализации и простых в интерпретации способов геоконтроля, позволяющих комплексировать традиционные методы контроля ЛПО и тем самым повысить достоверность их результатов остается весьма актуальным. В предыдущей работе авторов [10] был предло-

жен и обоснован такой способ, основанный на анализе акустоэмиссионного отклика замораживаемой геосреды на термическое воздействие — термостимулированной акустической эмиссии (ТАЭ). Однако вопрос о влиянии различных помеховых факторов на результаты термоакустоэмиссионного контроля до настоящего времени остается открытым. При этом, соответствующие исследования, направленные

Полностью рассмотреть и учесть весь спектр переменных и потенциально помеховых факторов в рамках одной работы не представляется возможным. Поэтому ниже приводятся результаты исследования влияния одного из наиболее характерных среди этих факторов — засоленности подземных вод. Исходя из показанного в [11] воздействия механического нагружения на особенности реализации термоакустоэмиссионного отклика геоматериала, в настоящей работе соответствующие эксперименты будут проводиться при постоянной механической одноосной нагрузке, моделирующей давление на контролируемый участок геосреды толщи вышележащих пород.

1. ПОДГОТОВКА И ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Эксперименты выполнялись на навесках песчано-глинистой смеси с содержанием глины от 30 % до 70 %. Так как все результаты показали достаточную сходимость и из-за ограничений по размеру настоящей работы, далее приводятся результаты испытаний навесок с одинаковым содержанием песка и глины. Глина получена с Чкаловского месторождения Ленинградской области. Песок зернистостью 0.5–0.8 мм взят из месторождения Рязанской области: содержание SiO_2 (не менее) — 99 %; Fe_2O_3 (не более) — 0,07 %; Al_2O_3 (не более) — 0,061 %. Все пробы увлажнялись соленой водой в количестве 30–32 % от массы грунта. Солеосодержание пробы изменялось в диапазоне 4–23 % и возрастало в каждой последующей пробе (рис. 3).

*E-mail: e.novikov@misis.ru

†E-mail: ftkp@mail.ru

Таблица I: Статистика аварий и крупных инцидентов при строительстве вертикальных стволов с 1948 по 2016 гг.

Период	Общее количество стволов	Произошедшие аварии и инциденты	Доля от общего количества стволов, %
1948-1958	143	46	32
1958-1968	194	62	32
1968-1978	96	50	52
1978-1988	37	21	57
1988-2005	60	26	43
2005-2009	18	15	83
2009-2016	33	23	70
1948-2016	581	243	42%

Однородность навески достигалась путем перемешивания песчано-глинистой увлажненной смеси в миксере.

С помощью представленной на рис. 1 лабораторной установки каждому образцу сообщалась и поддерживалась в ходе эксперимента одноосная нагрузка порядка 1.5 МПа, которая моделировала напряженное состояние в массиве при преобладании в нем одноосного напряженно-деформированного состояния.

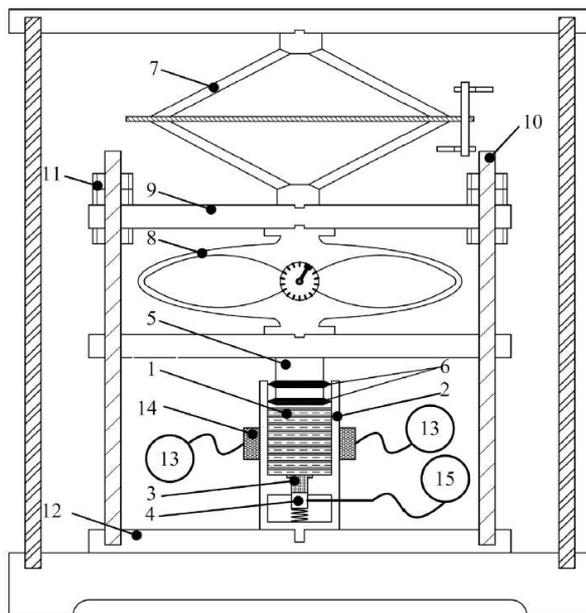


Рис. 1: Структурная схема лабораторной установки для термоакустоэмиссионных испытаний образцов мерзлых грунтов под действием механических напряжений

Образец 1 грунтово-водяной смеси помещался в металлическую оболочку 2, содержащую в донной части волновод 3 во фторопластовой опалубке (защита от фоновых шумов), соединенный с приемным преобразователем 4 акустической эмиссии. Оболочка 2 закупоривалась металлическим цилиндром 5, по периметру которого были установлены два уплотнительных кольца 6. Они исключали выдавливание грунта из оболочки 2 при сообщении цилиндру 5 механической на-

грузки с помощью ромбовидного домкрата 7. Процесс нагружения контролировался посредством стрелочного динамометра 8. После достижения заданной нагрузки положение прижимной плиты 9 фиксировалось по высоте направляющих стержней 10 стопорными гайками 11. Это позволяло сохранить созданную на образце механическую нагрузку, после её снятия с домкрата. Далее ограниченная плитами 9 и 12 конструкция вынималась из под домкрата и помещалась в морозильную камеру типа SE 10–45 (на рис. 1 условно не показана), где охлаждалась от комнатной температуры до минус 30–40°C и выдерживалась на этой температуре в течении не менее чем 90 мин, что гарантировало смерзание грунтово-водяной навески в единую ледопородную матрицу. После этого производилось отключение морозильника и с помощью ЛАТРа 13 подавалось регулируемое электрическое питание на нагревательные элементы 14, сообщавшие центральной части образца температуру 180°C в течении не менее 60 мин, что гарантировало разрушение ледопородной матрицы. Измерения и регистрация параметров акустоэмиссионного отклика осуществлялись на стадиях заморозки и оттаивания с помощью акустико-эмиссионной системы 15 (A-Line 32D).

2. ОБРАБОТКА И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Характерный вид полученных термоакустограмм иллюстрируется рис. 2.

Для численной обработки полученных данных использован такой параметр как средняя за интервал времени активность $\dot{N}_{\Sigma}^{TAЭ}$, отражающая интенсивность деструкции в объекте контроля. При установившемся температурном режиме в ходе заморозки (область А) \dot{N}_{Σ}^A показывает фоновый уровень акустических шумов, вызванных действием внешней механической нагрузки на ледовый каркас, взаимодействием включений с различными коэффициентами температурного расширения и т.п. При оттаивании (область Б) уровень \dot{N}_{Σ}^B характеризует количество структурных связей, разрушенных при деструкции ледопород-

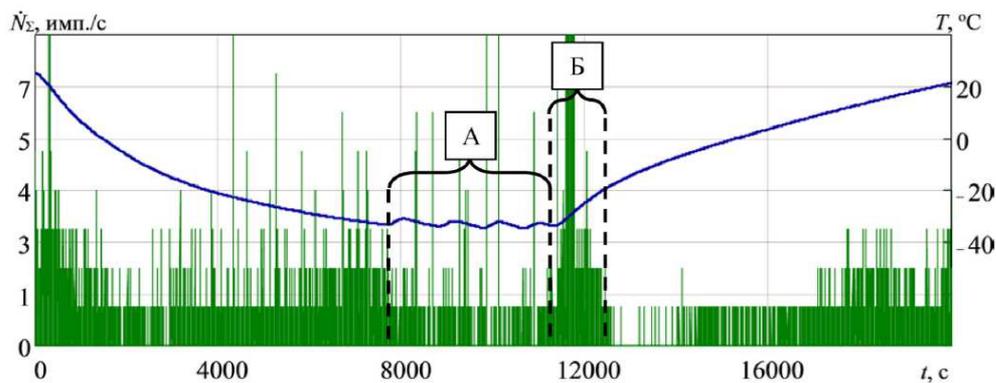


Рис. 2: Характерный вид термоакустограммы при испытании мерзлой засоленной обводненной песчано-глинистой смеси

ной матрицы. Т.е. \dot{N}_{Σ}^B характеристика запаса прочности ледового каркаса геоматериала, но не прямая его мера, т.к. уровень \dot{N}_{Σ}^B зависит от величины приложенной механической нагрузки, размера и однородности пробы. Очевидно, что эти неопределенности равнозначно сказываются как на \dot{N}_{Σ}^A , так и на \dot{N}_{Σ}^B . Соответственно рассчитав коэффициент $k_s = \dot{N}_{\Sigma}^B / \dot{N}_{\Sigma}^A$ получаем свободную от указанных неопределенностей оценку прочностных свойств ледового каркаса грунта при его растеплении с учетом действия постоянной механической нагрузки.

Экспериментально полученные значения k_s показаны на рис. 3.

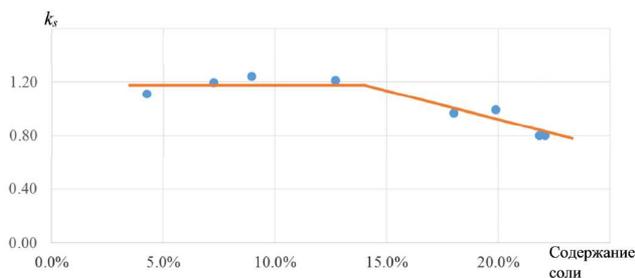


Рис. 3: Зависимость k_s от содержания соли в образцах мерзлого грунта

Из рис. 3 следует, что вплоть до формирования в грунте критического солевого содержания (в данном случае $\approx 14\%$) его влияние на прочность ледопородной матрицы и результаты термоакустоэмиссионного контроля пренебрежимо мало. С дальнейшим ростом солевого содержания наблюдается нарушение целостности ледового каркаса еще на стадии заморозки, т.к. часть грунта не промерзает, формируются концентраторы на-

пряжений, интенсифицирующие явления деструкции при изменении температурного режима. Однако на достоверности контроля методом ТАЭ это не сказывается, k_s по-прежнему характеризует способность ледопородной матрицы выдерживать определенную механическую нагрузку под действием положительного теплового потока. Отсюда следует, что для корректной интерпретации результатов термоакустоэмиссионного контроля не требуется априорной информации о солесодержании грунта. Соответственно этот фактор помеховым не является и результаты контроля грунтов даже с существенно различающимся солесодержанием могут рассматриваться как единая генеральная совокупность.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экспериментально показана возможность использования метода ТАЭ для численной оценки прочностных свойств у находящихся в напряженном состоянии локально растепляемых мерзлых грунтов с существенно отличающимся солесодержанием, что зачастую справедливо при ведении строительных работ в условиях криолитозоны или с помощью специальных способов проходки. Предложен алгоритм обработки результатов термоакустоэмиссионных измерений, позволяющий исключить влияние свойств насыщающей грунт жидкости на результаты контроля. Полученные в данной работе результаты можно рассматривать как значимый шаг по адаптации метода ТАЭ для реализации непосредственно в массиве мерзлых грунтов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-35-00105 мол_а).

[1] ван Хейден Т., Краузе Р., Дорн Э. Thyssen Mining Report 2012/13. 2013. С. 38.,

[2] Левин Л.Ю., Семин М.А., Зайцев А.В. Стратегия и процессы освоения георесурсов. 2016. С. 236.

- [3] *Yoshikawa K., Leuschen C., Ikeda A., Harada K., Gogineni P., Hoekstra P., Hinzman L., Sawada Y., Matsuoka N. J.* Geophys. Res. 2006. **111**(E6).
- [4] *Ross N., Brabham P., Harris C., Christiansen H. J.* Environ. Engineer. Geophys. 2007. **12**, N 1. P. 113.
- [5] *Maurer H., Hauck C. J.* Glaciol. 2007. **53**(180). P. 110.
- [6] *Moorman B.J., Robinson S.D., Burgess M. M.* Permafrost and Periglacial Processes. 2003. **14**. P. 319.
- [7] *Leclaire P., Cohen-Tenoudji F., Aguirre-Puente J. J.* Acoust. Soc. Am. 1996.
- [8] *Тютюнник П. М.* Геоакустический контроль процессов замораживания и тапонирования пород. М. : Недра, 1994.
- [9] *Wang Da-yan, Zhu Yuan-lin, Wei Ma, Niu Yong-hong* Cold Reg. Sci. Tech. 2006. **44**, N 1. P. 12.
- [10] *Novikov E. A., Shkuratnik V. L., Oshkin R. O.* Earth's Cryosphere. 2016. **XX**, N 1. P. 91.
- [11] *Voznesenskii A. S., Shkuratnik V. L., Kutkin Ya. O.* Rock Dynamics and Applications. 2013. N 1. P. 429.

On the influence of properties of the liquid saturating geomaterials on the parameters of their thermally stimulated acoustic emission

E. A. Novikov^a, M. G. Zaytsev^b

*National University of Science and Technology "Moscow Steel & Alloys Institute"(MISiS), Moscow Mining Institute (MGI)
Moscow 119049, Russia E-mail: ^ae.novikov@misis.ru, ^bftkp@mail.ru*

This paper presents the results of experimental studies of the effect of groundwater salinity on the results of thermoacoustic emission testing of ice wall matrix composed of this water and sandy-clay soil. It has been shown that the impact of this effect on the test results can be reduced. The applicability of thermally stimulated acoustic emission method for the evaluation of strength properties of frozen geomaterial during its thawing and under simultaneous action of mechanical load has been demonstrated.

PACS: 43.58.+z

Keywords: thermostimulated acoustic emission, ice wall, thawing, water content, soil salinity, test procedure, interference factors.

Received 29 June 2017.

Сведения об авторах

1. Новиков Евгений Александрович — канд. техн. наук, доцент; e-mail: e.novikov@misis.ru.
 2. Зайцев Михаил Геннадьевич — студент IV курса; e-mail: michailzaytsev1997@gmail.com.
-