

В результате проведения исследований установлено:

- имеет место существенное занижение величин модуля деформации грунтов, полученных при компрессионных испытаниях в сравнении с величинами «штамповых» модулей деформации;
- в исследованных условиях результаты определения угла внутреннего трения методом среза целиков достаточно хорошо согласуются с результатами опытов статического зондирования;
- показатели прочности песков, полученные в условиях лабораторного одноплоскостного среза, существенно отличаются в большую сторону от результатов полевых опытов на срез целиков. Максимальная разница в величине угла внутреннего трения достигала 10 градусов.

По результатам проведенных испытаний сделаны следующие выводы:

1. В результате сопоставления величин «штамповых» модулей деформации с величинами сопротивления статического зондирования скорректирована для исследуемых грунтов стандартная зависимость. Получены величины переходного коэффициента для рассмотренных условий.
2. Различия в условиях и схемах проведения полевых лабораторных исследований и статического зондирования рекомендованные соответствующими ГОСТами [1],[2],[3] не могут не сказаться на получаемых результатах.
3. Показатели механических свойств исследованных песков зависят от метода испытаний и особенностей их проведения.

#### Литература

1. ГОСТ 12248-2010. Грунты. Методика лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. Межгосударственный стандарт. – М.: МНТКС, 2011. – 155с.
2. ГОСТ 20276-2012. Грунты. Методы полевого определения характеристик прочности и деформируемости. Межгосударственный стандарт. – М.: Стандарт-Информ, 2013. – 45 с.
3. ГОСТ 19912-2001. Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием. – М.:МНТКС, 2001. – 21 с.
4. Полищук А. И. Оценка сжимаемости грунтов Томска по результатам штамповых и компрессионных испытаний / А. И. Полищук, М. В. Балюра, В. В. Фурсов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета., 2003. - №1 – с. 179 – 186.

### МЕТОДЫ ПРОГНОЗА И ЗАЩИТЫ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ В КАРСТООПАСНЫХ РАЙОНАХ

Е.А. Тетерин

Научный руководитель профессор Л.А. Строкова

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Российская газопроводная система одна из самых протяженных в мире. В 2012 году длина магистральных трубопроводов составила около 175 тысяч километров. Согласно официальной статистике «Газпрома», 42 % всех инцидентов, связанных с авариями газопроводов, произошли из-за прямого или косвенного воздействия природных факторов. Один из таких, представляющих опасность, трубопроводов назван «Сила Сибири». Длина осложненного природно-климатическими условиями участка составляет порядка 160 километров. Наиболее интересна инженерно-геологическая ситуация газопровода на территории Чаяндинского нефтегазоконденсатного месторождения. Трасса расположена на территории Ленского улуса Республики Саха (Якутия). В климатическом отношении участок магистрального газопровода проходит в условиях резко-континентального климата, так что температура зимой, например, может изменяться в пределах от –25 до –62 °С. Переход от зимы к весне обычно резкий при значительной разнице низких ночных и высоких дневных температур. Более того, это место богато карстовыми породами, что значительно усложняет поддержание газопровода в должном состоянии. Отмечено, что из года в год в данной местности образуются новые карстовые воронки. Развитие провалов связано с пористостью пород: циркулируя, подземные воды размывают и выносят растворимые минералы. Таким образом, этот участок трассы расположен в тяжелейших климатических условиях, которые серьезно осложнены карстовыми особенностями местности [3].

Для решения данной проблемы требуется прежде всего научиться предсказывать деформации, возникающие в трубопроводе. Однако зачастую невозможно узнать, когда произойдет обвал, поэтому важно регулярно производить мониторинг изгиба газопровода и оперативно устранять аварию. Эффективный выход из ситуации может быть найден, если использовать актуальные методы мониторинга и защиты трубопроводов. Рассмотрим некоторые из них.

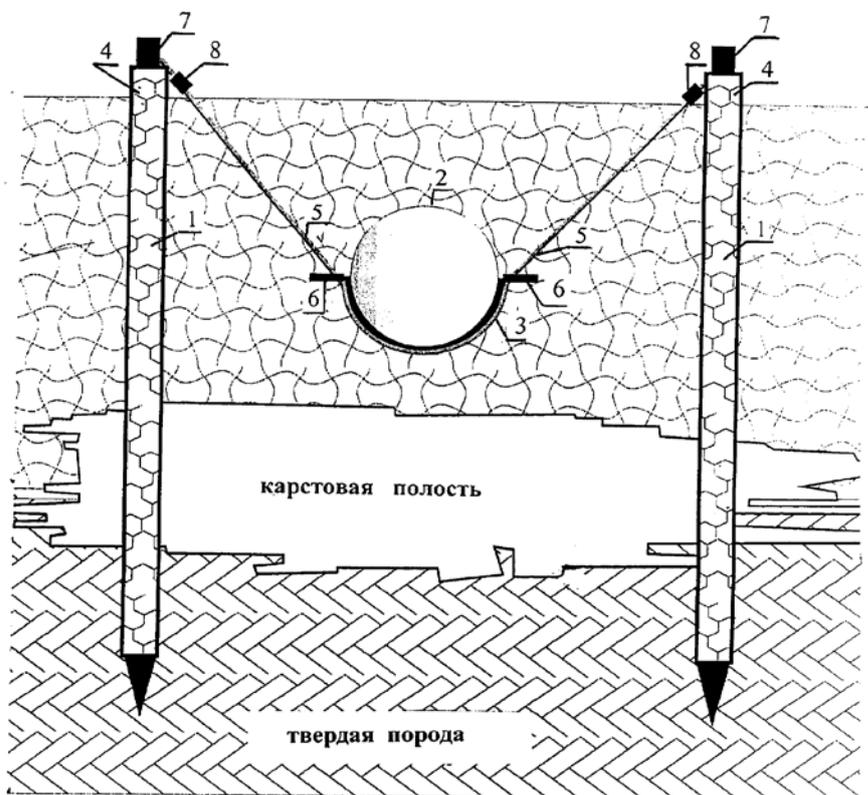
Первый способ представляет собой защиту газопровода с помощью буронабивных свай. Изобретение относится к строительству и эксплуатации магистральных трубопроводов и может быть использовано для предотвращения возникновения аварийных ситуаций в трубопроводах, вызванных карстовыми провалами. На рис. 1 изображен прототип вышеописанного метода. Устройство содержит буронабивные сваи 1, выполненные по обе стороны трубопровода 2, и соединенный с ними металлический ложемент 3 трубопровода. Буронабивные сваи выполнены так, чтобы оголовок 4 сваи находился выше уровня поверхности земли. Металлический ложемент соединен с буронабивными сваями с помощью стального троса 5, который пропущен через петли 6 металлического ложемент, огибая его. Концы стального троса закреплены на оголовках свай с помощью

натяжных муфт 7, регулирующих натяжение троса. На концах троса перед натяжными муфтами установлены датчики 8 [1].

Недостаток этого способа заключается в том, что данный прототип трудоемок при монтаже, т. к. содержит большую металлоемкость конструкции, а также в этом изобретении отсутствует визуальный контроль над конструкцией. Преимущество этого метода в том, что используемый трубопровод полностью статичен и независим от любых движений, которые могут возникнуть в земной коре.

Важно понимать, что в наши дни все большее и большее число компаний используют различного типа датчики для определения проблем, связанных с карстом, например, датчики, которые основанные на эффекте Баркаузена. Данный способ представляет один из самых надежных и эффективных путей мониторинга деформаций, возникающих в исследуемом объекте. Эффект Баркаузена является одним из прямых доказательств доменной структуры ферромагнетиков. Суть эффекта: при монотонном и непрерывном внешнем воздействии возникает скачкообразное изменение намагниченности ферромагнитного вещества, при котором происходит перестройка доменной структуры материала. Скачки намагниченности ферромагнетика вызывают напряжение в обмотке катушки (датчик), что, в свою очередь, производит шумы Баркаузена в регистрирующем устройстве.

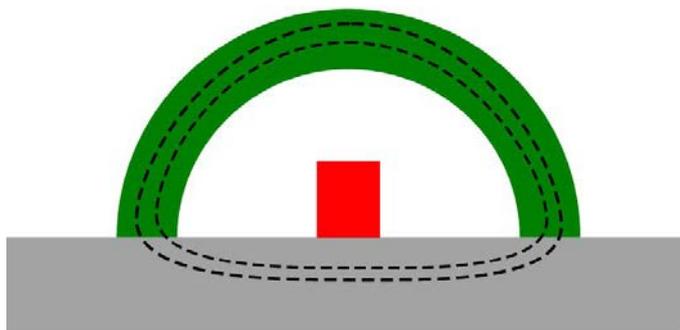
Для возбуждения и регистрации в исследуемом ферромагнитном материале магнитного шума Баркаузена используются накладные датчики-преобразователи (см. рис. 2). Двухполюсный электромагнит датчика создает в прилегающей к датчику области исследуемого объекта переменное магнитное поле, возбуждающее скачки намагниченности, в результате чего в приемной катушке датчика возникает шумовой сигнал, регистрируемый прибором.



**Рис. 1. Защита с помощью буронабивных свай:**

**1 – буронабивные сваи; 2 – трубопровод; 3 – металлический ложемент; 4 – оголовки свай;  
5 – стальной трос; 6 – петля; 7 – натяжные муфты; 8 – датчики**

В большинстве сталей при растяжении интенсивность шума возрастает, при сжатии – падает. Уровень магнитного шума зависит от свойств и состояния кристаллической решетки, в том числе от механического напряжения. Кроме того, этот тип датчиков может быть использован в тяжелых климатических условиях. В частности, его рабочая температура составляет от  $-70$  до  $+70$  °С. Недостаток данного метода заключается в невозможности использования накладного датчика с неметаллическими трубопроводами [4].



**Рис. 1. Общая схема чувствительного элемента установки магнитного метода неразрушающего контроля ферромагнитных материалов: зеленый – намагничиваемая скоба; красный – индуктивный датчик; серый – трубопровод**

Таким образом, существуют методы для обнаружения карстовых воронок, а также способы прогнозирования и мониторинга роста полостей и защиты трубопроводов от их негативного воздействия. Несмотря на это, карст до сих пор является проблемой номер один для некоторых регионов. К сожалению, еще нет такого решения, которое бы удовлетворило все потребности человека в сфере нефтедобычи и нефте- и газотранспортировки. Карстопоявление остается серьезным вызовом для соблюдения норм экологии и промышленной безопасности в нефтяном и газовом бизнесе, поэтому исследования карста продолжают во всем мире. Изучение влияния природных факторов на устойчивость трубопроводов в карстовых районах имеет огромное значение для развития нефтяной промышленности на трудноосваиваемых территориях, а также привлекает инвестиции в наукоемкие области производства. В заключение, анализируя все методы, которые были упомянуты здесь, можно сказать, что способ на основе эффекта Баркгаузена является лучшим способом контроля деформаций трубопроводов. Этот способ действительно обеспечивает оптимальный температурный режим и эффективный мониторинг трубопроводных аварий.

#### Литература

1. Пат. 2316630 Россия № 2316630. Способ защиты трубопроводов от аварийных ситуаций, вызванных карстовыми провалами. Е.Б. Аль-Сайяль, Т. С. Ширяева. Заявлено 2008.02.10.
2. Cullity, B.D. 1972. Introduction to magnetic materials. USA: Addison-Wesley Pub. Co.
3. Strokova, L.A., Ermolaeva, A.V. 2015. Natural features of construction of the main gas pipeline «The Power of Siberia» on a site Chayandinskoye oil and gas field - Lensk. Bulletin of the Tomsk Polytechnic University 327(1): in press.
4. Teterin, E.A., Strokova, L.A. Methods for forecasting and protection pipelines from karst collapse. Proc. intern. symp.: Environmental safety and construction in karst areas, Perm, May 26 - 29 April 2015. Perm: PSU: in press.

### ХАРАКТЕРИСТИКА НАБУХАЕМОСТИ ГРУНТОВ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

**А.В. Шрамok**

Научный руководитель доцент В.В. Крамаренко

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г.Томск, Россия*

Проблема строительного освоения территорий, сложенных набухающими грунтами, в настоящее время является весьма актуальной. Недооценка их набухания является причиной повреждения многих сооружений. Несмотря на то, что процессы набухания существенно осложняют строительство и эксплуатацию зданий и сооружений, районы их распространения интенсивно осваиваются.

Вопросы строительного освоения территорий, сложенных набухающими грунтами, не могут быть правильно решены без одновременного учета природы процесса набухания и особенностей проектируемых объектов. Проблема оценки опасности процессов набухания грунтов основания и вопросы, связанные с защитой зданий и сооружений от данных процессов, должны быть учтены еще на стадии проектирования.

Набухание проявляется обычно при содержании глинистых частиц в количестве более 40-60%, плотности - более 1,5-1,7 г/см<sup>3</sup>, влажности - менее 0,20-0,30 [1]. Так как в глинистых грунтах редко встречается естественная влажность менее указанных значений, особый интерес представляют методики выявления и прогноза набухающих грунтов и конечно их классификации.

Целью данной работы является выявление распространения склонных к набуханию грунтов на территории Томской области. В задачи входило обзор ранее проведенных исследований для подтверждения присутствия минералов групп смектита и гидрослюдов, систематизация методик прогноза и определения характеристик набухания, классификаций набухающих грунтов, а также создание базы данных грунтов, склонных к набуханию.

В соответствии с действующими методиками [2], испытания, на определение склонности грунтов к набуханию, проводят для определения показателей, характеризующих изменение объема глинистых грунтов: