

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Пермского федерального
исследовательского центра УрО РАН

академик РАН, д.т.н. Барях А.А.



октября 2020г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Кравченко Олега Сергеевича «Влияние температурных воздействий на акусто-эмиссионные эффекты при различных режимах механического нагружения каменной соли», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.16 – «Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр»

Актуальность работы

Резервирование запасов углеводородов и, в частности, природного газа в специальных хранилищах является одним из важных направлений обеспечения надёжного функционирования топливно-энергетической системы страны. С точки зрения экономической эффективности и технологической безопасности среди соответствующих хранилищ наиболее перспективны подземные хранилища газа (ПХГ) в массивах каменной соли, которая, благодаря своим уникальным свойствам, является качественным геологическим барьером и позволяет использовать современные скважинные технологии для образования в толще соляных пород значительных по объёмам и достаточно устойчивых резервуаров.

Проектированию и строительству ПХГ обычно предшествуют масштабные инженерно-геологические изыскания, важной составляющей которых является определение механических свойств каменной соли на извлечённых из массива образцах. В конце 90-годов исследованиями, проведёнными в Московском горном институте, было показано, что стадии деформирования каменной соли и ряд её механических свойств могут быть определены на основе анализа особенностей проявления параметров акустической эмиссии (АЭ) деформируемых образцов. Хотя указанные исследования активно развивались вплоть до настоящего времени, однако они не учитывали влияние изменяющихся в широких пределах повышенных температур в зоне размещения ПХГ, которые, как известно, могут

существенно изменять механические свойства каменной соли и, как следствие, закономерности проявления АЭ в ней. В связи с этим, цель представленной работы – установление закономерностей АЭ при различных режимах термобарических испытаний каменной соли во взаимосвязи с её физико-механическими свойствами и напряжённо-деформированным состоянием применительно к решению задач геоконтроля при строительстве ПХГ сомнений не вызывает.

Новизна результатов исследования, выводов и рекомендаций

Основу использованных автором при проведении исследований методов и подходов, составляли синхронные деформационные и акусто-эмиссионные измерения на выборках прошедших предварительное цензурирование образцов каменной соли, подвергаемых различным режимам термобарических воздействий. Совместный теоретический анализ и обобщение экспериментальных данных, полученных на представительных выборках образцов каменной соли нескольких месторождений, позволил установить:

- особенности проявления активности АЭ на различных стадиях одноосного нагружения, а также на границах между этими стадиями в функции от скорости деформирования и температурных воздействий, выявить и количественно оценить влияние последних на смещение границ стадий деформирования и изменения определяемых по этим границам пределов упругости и длительной прочности относительно прочности образца на одноосное сжатие;
- особенности проявления активности АЭ на различных стадиях деформирования при испытаниях образцов каменной соли по схеме Кармана в условиях изменяющихся температур; показано, что при таких испытаниях по сравнению с одноосным нагружением активность АЭ в пределах каждой стадии деформирования носит более упорядоченный характер, а сами границы между указанными стадиями выделяются более чётко, что позволяет надёжно оценить значения пределов упругости и длительной прочности относительно девиатора напряжений.
- закономерности изменения активности АЭ в условиях одноосного статического механического и одновременно изменяющегося термического воздействия, которое при определённых условиях играет роль спускового механизма перехода от стадии устойчивой к стадии прогрессирующей ползучести. Причём момент такого перехода может быть идентифицирован по почти двукратному скачкообразному и последующему экспоненциальному возрастанию активности АЭ.
- особенности проявления акусто-эмиссионного эффекта памяти в каменной соли при её циклическом нагружении, как с возрастающим, так и с постоянным уровнем максимальной нагрузки в условиях не только высоких

температур, но и прямого и обратного перехода между низкими и высокими температурами.

По результатам перечисленных выше особенностей и закономерностей был сделан важный вывод о необходимости учёта температурных режимов при проведении лабораторных испытаний образцов каменной соли с использованием метода акустической эмиссии и даны рекомендации по практической реализации такого учёта. Показано, что метод АЭ обеспечивает возможность оценки физико-механических свойств каменной соли, а также решения ряда прогнозных задач, связанных с оценкой влияния температур на процессы деформирования и разрушения каменной соли, при этом он может использоваться как самостоятельно, так и в качестве важного дополнения к традиционным деформационным измерениям.

Практическая значимость и реализация полученных результатов
Полученные соискателем результаты диссертационной работы, отражающие закономерности и особенности влияния температурных воздействий на акустико-эмиссионные эффекты при различных режимах механического нагружения каменной соли, имеют важное практическое значение, так как с их использованием возможно получение более объективных данных о её физико-механических свойствах в массиве. Указанные результаты переданы в ООО «Газпром геотехнологии», где уже используются при определении свойств и состояния соляных горных в зонах проектирования и строительства ряда подземных хранилищ газа. Очевидно, что результаты проведённого исследования представляют интерес также для научно-исследовательских, проектных и производственных организаций, деятельность которых связана с освоением месторождений соляных горных пород и, соответственно, могут быть рекомендованы им для практического использования.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций диссертационной работы сомнений не вызывают, так как они базируются на представительном объёме экспериментальных данных, полученных на предварительно цензурированных выборках образцов каменной соли различных месторождений с использованием, как серийного, так и специально разработанного аппаратурного обеспечения с высокими метрологическими характеристиками. Кроме того, следует отметить непротиворечивость результатов деформационных и акустико-эмиссионных измерений, а также удовлетворительную их сходимость и воспроизводимость при многократных испытаниях, соответственно, в одинаковых и отличающихся условиях.

Оценка содержания диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения и списка использованных литературных источников, содержит 52 рисунка и 9 таблиц. Во введении сформулированы актуальность работы, её цель, основные научные положения, новизна и

практическая значимость результатов исследования, обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций.

Первая глава посвящена анализу современного состояния акустико-эмиссионного метода изучения свойств и состояния соляных горных пород и постановка задач диссертационного исследования. Во второй главе рассмотрены результаты исследования деформационных и акустико-эмиссионных свойств каменной соли при различных температурах и скоростях одноосного деформирования, а также при различных температурах и нагружении по схеме Кармана. показана возможность установления на основе АЭ измерений момента перехода от стадии устойчивой к стадии прогрессирующей ползучести. Третья глава посвящена исследованию акустико-эмиссионных и деформационных характеристик каменной при одноосном и трёхосном нагружении и ступенчато возрастающих термических воздействиях. Здесь показана возможность установления на основе АЭ измерений момента перехода от стадии устойчивой к стадии прогрессирующей ползучести. В четвёртой главе рассмотрены особенности проявления акустико-эмиссионного эффекта памяти образцов каменной соли в условиях высоких температур, а также при переходе от низких к высоким температурам и от высоких к низким.

В целом работа написана ясным технически грамотным языком, хорошо структурирована, отличается логикой изложения и чёткой взаимосвязью отдельных частей.

Основные положения работы, полученные результаты и выводы достаточно полно отражены в 8-и печатных работах, в том числе 5 – в научных изданиях, рекомендованных ВАК, из которых 3 проиндексированы в базах данных Web of Science и Scopus и 2 – в Scopus. Работа была достаточно широко апробирована на ряде научных конференций. Содержание автореферата полностью соответствует основным положениям диссертации.

Замечания по диссертационной работе:

1. В работе достаточно много внимания уделено описанию аппаратурного обеспечения проводимых деформационных и акустико-эмиссионных измерений, которое с одной стороны при решении каждой конкретной задачи индивидуально, а с другой – имеет много общего. В связи с этим, на наш взгляд, методически было бы целесообразно объединить все вопросы аппаратурного обеспечения в одну главу.
2. Не совсем ясно, почему в одних экспериментах наряду с активностью акустической эмиссии измерялись только продольные деформации, а в других - продольные и объёмные. Очевидно, что в последнем случае с точки зрения информативности эксперимент только бы выиграл.
3. Полученные в четвёртой главе экспериментальные результаты, свидетельствующие о проявлении акустико-эмиссионного эффекта памяти в образцах каменной соли при постоянном уровне напряжений в последующих циклах, в принципе сомнений не вызывают, однако даваемое

объяснение этих результатов было бы более убедительно, если бы соискатель экспериментально показал, что динамика деформаций при механическом нагружении образца опережает динамику напряжений в нём.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Подводя итоги, можно сделать следующие выводы. Диссертационная работа О.С. Кравченко выполнена на высоком научном уровне, отличается актуальностью, новизной, научной и практической значимостью.

Диссертация соответствует паспорту специальности 25.00.16 «Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр», а также требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ «МИСиС», которые предъявляются к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Автор диссертационной работы – Кравченко Олег Сергеевич, заслуживает присуждения искомой ученой степени по соответствующей специальности за решение актуальной научной задачи установления закономерностей влияния температурных воздействий на параметры акустической эмиссии при различных режимах механического нагружения каменной соли, что имеет важное значение для повышения эффективности геоконтроля при проектировании, строительстве и эксплуатации подземных хранилищ газа в массивах соляных горных пород.

Отзыв подготовлен:

Директор Горного института УрО РАН-
Филиал федерального государственного
бюджетного учреждения науки

Пермский федеральный исследовательский
центр Уральского отделения Российской академии
наук (ГИ УрО РАН), д.т.н., профессор



И.А.Санфиров

Старший научный сотрудник ГИ УрО РАН,
к.т.н.



В.А.Токсаров

Отзыв заслушан и обсужден на заседании Ученого совета ГИ УрО РАН
протокол № 10 от 9 октября 2020 г.

Тел.: 7(342) 216-75-02; e-mail: arc@mi-perm.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Пермский
федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской
академии наук
614990, г. Пермь, ул. Ленина, д. 13, строение “а”

Подпись Санфирова Игоря Александровича и Токсарова Валерия
Николаевича заверяю:



Инспектор ОК ПФИЦ УрО РАН Фотина Ю.В.