

УТВЕРЖДАЮ

Директор ФГБУН "Институт проблем  
комплексного освоения недр РАН",  
член-корреспондент РАН,  
профессор, доктор технических наук



В.Н. Захаров

" " март 2019 г.

### Отзыв ведущего предприятия

на диссертационную работу БЕЛТЮКОВА Николая Леонидовича на тему **"Разработка скважинного метода измерения напряжений в массиве горных пород на основе эффекта Кайзера"**, представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.20 – Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика

#### 1. Актуальность темы диссертации.

Общая тенденция в развитии освоения месторождений твердых полезных ископаемых связана со все более усложняющимися горно-геологическими условиями, когда действующие напряжения в массиве горных пород становятся сопоставимыми с их прочностными характеристиками. Вследствие этого элементы горнотехнических конструкций используемых систем разработки во многих случаях вынуждены работать на пределе потери устойчивости с возможным последующим разрушением, не только локальным, но и крупномасштабным, зачастую приводящим к катастрофическим последствиям.

Отсюда возникает важная задача получения оперативной и достоверной информации о напряженном состоянии массива горных пород, как в его исходном состоянии, так и в процессе развития горных работ.

Существующие на сегодняшний день и общепринятые методы определения напряжений в массиве основаны на достаточно трудоемких и тонких процедурах (варианты метода полной разгрузки, метод гидроразрыва скважины и др.) и не могут претендовать на массовое воспроизведение и оперативность получения информации.

Рассмотренный в диссертации подход, основан на использовании эффекта Кайзера, явления связанного с излучением акустической эмиссии горными породами при определенных условиях их нагружения. Методы изме-

рения напряжений, сформированные в рамках этого подхода, могут отличаться простотой используемого оборудования и оперативностью применения. В связи с этим первоочередной задачей является формирование адекватных представлений о физических механизмах, обуславливающих данное явление, и получение закономерностей возникновения акустической эмиссии в зависимости от характера изменения напряжений в массиве в различных горно-геологических условиях. Получению таких закономерностей в основном и посвящена настоящая диссертационная работа.

Возможность создания принципиально новых методов измерения напряжений в массиве обуславливает актуальность выбранной диссертантом темы исследований.

## **2. Научная новизна работы.**

В своей работе диссертант в рамках единого методологического подхода объединил разноплановые исследования, как теоретического, так и экспериментального характера.

Во-первых, это серия исследований и соответствующие закономерности в рамках лабораторных исследований эффекта Кайзера с использованием камеры трехосного сжатия в режиме циклического нагружения. Выявлена связь изменения активности АЭ с ростом трещин в образцах.

Во-вторых, это количественные закономерности проявления эффекта Кайзера в породах околоскважинного пространства при нагружении его гидродомкратом, позволяющие оценить напряжения в массиве.

В-третьих, проведены численное моделирование изменения напряженно-деформированного состояния массива в породах околоскважинного пространства. В частности выявлены условия возникновения растягивающих напряжений в массиве. Моделирование позволило выявить два механизма возникновения АЭ - образование микротрещин разрыва в зонах с растягивающими тангенциальными напряжениями и активизация микротрещин в областях сжатия (т.е. собственно эффект Кайзера). При этом возникает проблема выделения полезного сигнала.

В-четвертых, разработана и реализована скважинная аппаратура для измерения напряжений в массиве горных пород с использованием гидродомкрата Гудмана.

В-пятых, проведены измерения напряжений в различных горно-геологических условиях на разных месторождениях, которые показали приемлемое совпадение с известными ожидаемыми величинами.

Таким образом, научной новизной представленного исследования является качественно новое количественное описание эффекта Кайзера, позволившее разработать новый метод измерения напряжений в массиве горных пород.

### 3. Научные результаты.

В ходе выполнения диссертационной работы Бельтюкова Н.Л. получен ряд новых научных результатов, к которым следует отнести:

- при исследовании эффекта Кайзера в околоскважинном пространстве выявлено, что резкое нарастание интенсивности АЭ происходит при давлении на стенки скважины равном величине напряжения, действовавшего в массиве в направлении нагружения (с учетом коэффициента передачи давления от гидродомкрата на стенки скважины);
- в случае разгрузки и повторного нагружения АЭ отсутствует до тех пор, пока давление гидродомкрата не превысит максимальное значение предыдущего цикла. При этом уровень АЭ резко восстанавливается до уровня, достигнутого ранее;
- выявлены два механизма появления АЭ в опытах на образцах горной породы в лабораторных условиях - в зонах растяжения с образованием микротрещин разрыва на контуре скважины и в связи с активизацией микротрещин в областях сжатия при определенном уровне сжимающих напряжений;
- исследованы условия возникновения АЭ в зависимости от направления нагружения и величин главных компонент естественного поля напряжений;
- выписано аналитическое выражение для критического давления гидродомкрата в зависимости от направления нагружения и комбинации главных напряжений в массиве;
- с помощью разработанной аппаратуры и методики получены величины напряжений в барьерных и междукамерных целиках рудник "Жомарт", в бортах Сарбайского железорудного карьера, в соляных породах Гремячнского месторождения калийных солей, в соляных породах ВКМКС. Полученные результаты достаточно хорошо коррелируют с известными величинами исходных вертикальных напряжений в массиве, с размерами зон опорного давления и др.;

Полученные результаты дают основания говорить о том, что разработаны теоретические основы нового метода измерения напряжений в массиве горных пород и, собственно, сам метод, включая аппаратуру и методику проведения измерений.

#### **4. Практическая ценность работы.**

В диссертационной работе разработан новый скважинный метод измерения напряжений в массиве горных пород - очень востребованный инструмент при оценке состояния и поведения массива в процессе развития горных работ. Такого рода измерения крайне необходимы в условиях больших глубин и неблагоприятных горно-геологических условиях для разработки мероприятий по предотвращению проявлений горного давления, в том числе катастрофических. Метод отличается большой оперативностью и при соответствующей организации работ может работать практически on-line.

#### **5. Замечания по диссертационной работе.**

1. Отметим неудачную формулировку третьего научного положения. Здесь нет научной составляющей проведенного исследования. Это просто констатация того факта, что выполнена определенная работа.
2. Представляется, что обзор методов определения напряжений в первой главе несколько перегружен рассмотрением различных методов, не имеющих отношения к эффекту Кайзера.
3. Поскольку исследования по эффекту Кайзера в итоге доведены до метода измерения напряжений и такие измерения были проведены на различных месторождениях, то возникает вопрос о точности таких измерений. Этот вопрос не обсуждается в работе, хотя имеет первостепенное значение.

#### **6. Общая оценка диссертационной работы.**

Сделанные замечания не изменяют общей положительной оценки представленной работы. Полученные автором теоретические результаты и результаты экспериментов достоверны, базируются на достаточном числе исходных данных, примеров и расчетов, обладают новизной, выводы - обоснованы. Содержание работы изложено последовательно, хорошим языком, с использованием соответствующей научной терминологии, стиль диссертации отвечает общепринятым требованиям. По каждой главе сделаны четкие выводы.

В диссертационной работе поставленные задачи решены в полном объеме. Защищаемые научные положения сформулированы четко и однозначно, а весь материал исследований их подтверждает.

Автором опубликовано 15 работ (из них 6 в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России), которые соответствуют теме диссертационной работы.

Автореферат соответствует содержанию диссертации и в достаточной мере передает ее суть и обоснованность выводов и рекомендаций.

Результаты работы могут быть внедрены при планировании горных работ в процессе разработки месторождений твердых полезных ископаемых.

## **7. Заключение по диссертационной работе.**

Диссертационная работа БЕЛЬТЮКОВА Николая Леонидовича на тему "**Разработка скважинного метода измерения напряжений в массиве горных пород на основе эффекта Кайзера**" является законченной научно-квалификационной работой, самостоятельно выполненной на высоком научно-техническом уровне. Она содержит новое решение актуальной научно-технической задачи создания метода оценки напряженного состояния массива горных пород, позволяющего получение оперативных результатов в сложных горно-геологических условиях, что имеет важное практическое значение для горнодобывающих предприятий.

Диссертационная работа соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ, предъявляемых к кандидатским диссертациям, соответствует специальности 25.00.20 – Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика, а ее автор БЕЛЬТЮКОВ Николай Леонидович – достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Отзыв обсужден и одобрен на заседании научного отдела "Центр проблем метана и газодинамических явлений угольных и рудных месторождений" ФГБУН "Институт проблем комплексного освоения недр РАН" 12 марта 2019 г. (Протокол № 1).

Заведующий лабораторией геодинамических и газодинамических процессов при освоении угольных и рудных месторождений,  
доктор технических наук



В.А.Трофимов

E-mail: [asas\\_2001@mail.ru](mailto:asas_2001@mail.ru), тел. (495) 360-4454

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В.Мельникова Российской академии наук (ИПКОН РАН)

111020, г. Москва, Крюковский туп., 4, ИПКОН РАН

Подпись Трофимова Виталия Александровича

удостоверяю

ученый секретарь

ФГБУН "Институт проблем

комплексного освоения недр РАН",

профессор, кандидат технических наук



А.З. Варганов