

# ОЦЕНКА ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ В МАССИВЕ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ НА ОСНОВЕ ВЗРЫВАНИЯ ШПУРОВЫХ ЗАРЯДОВ ВВ

## ESTIMATION OF ROCK PRESSURE IN THE MASSIF OF IRONIC QUARTZITES ON THE BASIS OF EXPLOSION OF SHORE CHARGES OF EX-PLOSIVES

*V. Tyurin,*

*doctor of technical sciences,  
professor;*

*K. Ponomarenko,*

*postgraduate student,  
engineer,*

*Belgorod State National Research University,  
Belgorod*

During the development of underground mining of mineral deposits, which is associated with an increase in the depth of mining operations, it becomes necessary to assess the stability of the structural elements of the development system used when designing the next sections.

The proposed method can be used in the development of underground mining sites during drilling and blasting operations.

**Keywords:** the stress state of the massif, the impact of the explosion, the penetration of holes, physical and mechanical properties of rocks, rock mass, fracturing, explosive substances, hole, crushing zone, diameter of the «cup».

Современное состояние подземной геотехнологии отрабатки месторождений характеризуется повышением сложности горно-геологических и горнотехнических условий, связанных с: увеличением глубины разработки, обводненностью, насыщенностью флюидами, геологической нарушенностью горных массивов. К примеру, решение задач, связанных с оценкой устойчивости конструктивных элементов используемых систем разработки (размеры целиков, камер, горизонтальных и вертикальных обнажений горных выработок), при проектировании очередных участков горных работ, основываются на учете множества факторов, таких как: напряженно-деформированное состояние горного массива, структурная нарушенность, физико-механические свойства пород массива, характер деформирования и т.д.

С начала XX века и в настоящее время лаборатории, как Российских (Академия наук СССР, ВНИИ, ВНИИГ, МГУ, УрО РАН, ВНИИ ГАЛУРГИИ и др.), так и зарубежных исследователей, активно изучают и развивают теоретические и экспериментальные методы исследования горного давления и напряженно-деформированного состояния (НДС) горных массивов.

В связи с ростом требований к прогнозированию в геомеханике, активно развиваются экспериментальные и те-

*В.Н. Тюпин,*

*доктор технических наук,  
профессор;*

*К.Б. Пономаренко,*

*аспирант,  
инженер,*

*Белгородский государственный национальный  
исследовательский университет,  
г. Белгород.*

**Ключевые слова:** напряженное состояние массива, влияние взрыва, проходка выработок, физико-механические свойства пород, массив горных пород, трещиноватость, взрывчатые вещества, шпур, зона раздавливания, диаметр «стакана».

ретические методы исследований горного давления и напряженно-деформированного состояния (НДС) массива. В принципиальном отношении, применяемые в настоящее время методы измерения параметров напряжений в массивах горных пород можно разделить на три группы: основанные на физических принципах, механико-геометрические и геологические.

К методам определения напряжений, основанных на физических принципах относятся: сейсмометрический, ультразвуковой, звукометрический, акустический, радиометрический, электрометрический, вибросейсмический, гамма-метод. К механико-геометрическим относятся такие известные методы как: метод полной разгрузки, метод частичной разгрузки, измерения с помощью наклонномеров, методы деформометров, триангуляционные измерения, метод щелевой разгрузки, метод разгрузки на больших базах, метод тензометрии. Сюда можно отнести также компенсационные геомеханические методы: метод гидроразрыва, метод плоских домкратов, метод буровых скважин, метод параллельных скважин, метод компенсационной разгрузки. К геологическим методам геоконтроля относят: визуальные наблюдения, метод фотофиксации, анализ геологических и геотектонических особенностей массива, метод дискования керна. Перечисленные методы подробно изложены в отечественной [1-5, 10-18] и зарубежной [6-9] литературе.

Следует учитывать, что каждый из вышеперечисленных методов характеризуется своими потенциальными возможностями, степенью разработанности и условиями применения.

В основном, методы геоконтроля, за исключением теоретических и инженерно-расчетных методов, (хотя и они, зачастую, могут требовать приобретение дорогостоящих программных комплексов) требуют высоких затрат на оборудование и средства измерения, могут являться весьма трудоемкими и препятствовать в некоторой степени процессам горной добычи. Однако выявление мест концентрации на-

пряжений снижает вероятность проявлений статических и динамических форм проявления горного давления, что помогает снизить затраты на восстановительные работы и повысить уровень безопасности горных работ.

Методика. Анализ литературных источников на предмет исследования НДС горного массива, обоснование формулы определения напряженного состояния массива после взрыва шпуровых зарядов ВВ, разработка методики и проведение промышленных экспериментальных исследований, доказательство правомерности формулы определения напряженного состояния массива.

#### Обоснование формулы расчета напряженного состояния массива

Основой разработки метода определения напряжений в горном массиве при воздействии взрыва послужила серия промышленных, экспериментальных и теоретических исследований, приведенных в [18, 19]. При взрыве заряда ВВ в шпуре (скважине) в очень короткий промежуток времени создается определенное давление, которое суммируясь с горным давлением в окружаемом массиве, обеспечивает разрушение массива. Вблизи заряда ВВ создается зона раздавливания (мелкодисперсного дробления), (рис. 1). В [18] экспериментально, в промышленных условиях установлено, что с увеличением горного давления, диаметр зоны раздавливания «стакана» увеличивается.

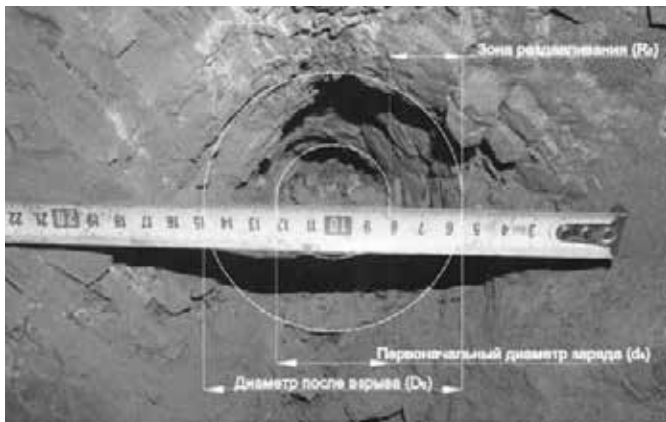


Рис. 1. Фотография «стакана» после взрыва шпура в забое выработки, схема к определению геометрических параметров зоны раздавливания от взрыва шпура (шахта им. Губкина, гор. -250м, породы – железистый кварцит).

Теоретическими исследованиями в [18, 19] установлена зависимость радиуса зоны раздавливания, используя которую с учетом геометрических соображений (рис. 1) получена зависимость величины горного давления от физико-технических свойств массива, детонационных характеристик ВВ и диаметра «стакана»

$$P = \sigma_{сж} - \frac{\sqrt{\pi}}{4} \frac{D \rho_g d_3 c}{(D_c - d_3) \Phi} \sqrt{\frac{d_k}{d_e}}, \quad (1)$$

где  $D$  – скорость детонации ВВ;  $\rho_g$  – плотность заряжения;  $d_3$  – первоначальный диаметр шпура (скважины);  $c$  – скорость продольной волны в породе;  $d_k$  – максимальный размер куска породы в «стакане» после взрыва;  $d_e$  – размер отдельности в массиве;  $\Phi$  – показатель трещиноватости;

$\sigma_{сж}$  – предел прочности породы сжатию;  $P$  – величина напряженного состояния горного массива,  $D_c$  – диаметр «стакана».

Формула (1) имеет сложный вид с большим количеством параметров, что может обеспечить большой разброс значений при расчете величины горного давления. Поэтому в выработках шахты им. Губкина, в железистых кварцитах были проведены специальные исследования и установлено, что в среднем

$$\sqrt{\frac{d_k}{d_e}} = 0,22, \Phi = 7,3.$$

При проходке выработок применяют аммонит 6ЖВ с скоростью детонации ( $D = 4,2 \times 10^3$  м/с) и плотностью заряжения ( $\rho_g = 700$  кг/м<sup>3</sup>). Диаметр патронов 32 мм, шпуров 40 мм, длина шпуров 2,5 м. Подставляя в (1) приведенные численные значения, получим аналитическую формулу для определения НС массива в железистых кварцитах шахты им. Губкина.

$$P = \sigma_{сж} - 1,57 \times 10^3 \frac{c}{D_c - 0,04}, \quad (2)$$

Поскольку  $P$  должно быть больше нуля, то область применения формулы (2):

$$D_c > 1,57 \times 10^3 \frac{c}{\sigma_{сж}} + 0,04. \quad (3)$$

Для определения величины напряженного состояния массива железистых кварцитов по (2) необходимо провести промышленные экспериментальные исследования.

#### Методика проведения промышленных экспериментов

Для расчета напряженного состояния массива по формуле (2) в горных выработках шахты им. Губкина комбината «КМАРуда» на горизонте -250м (глубина 445 м) проведены исследования.

Давление от взрыва, формирует вблизи заряда зону раздавливания, где породы разрушаются на мелкие куски. Наиболее постоянное давление от взрыва формируется вблизи забоя взрывающего шпура. После взрыва шпуров в забое выработки в месте зоны раздавливания образуется полость, которую называют «стаканом» (рис. 1).

В железистых кварцитах, после цикла проходки, по вновь образованному забою линейным методом определялись: диаметр зоны раздавливания «стакана», средний размер отдельностей в массиве, максимальный размер куска породы в «стакане». Далее производился отбор образцов железистых кварцитов для установления физико-механических характеристик в лаборатории ОАО «ВИОГЕМ». Определялись по стандартным методам предел прочности на одноосное сжатие, скорость продольной волны. Результаты исследований по 55 взорванным шпурам приведены в таблице 1.

#### Численные расчеты и анализ результатов исследований

Используя формулу (2) и физико-механические свойства железистых кварцитов рассчитаны значения напряженного состояния горного массива, которые приведены в таблице 1.

На основе (2) с учетом физико-технических свойств железистых кварцитов построен график (рис. 2) расчетной

Физико-технические параметры массива до и после взрывания шпуров при проходке выработок, расчетная величина напряженного состояния массива.

| Геологическое описание горной породы, участки измерений на глубине, м | Размер отдельности в плоскости забоя ( $d_e$ ), м | Максимальный размер куска в «стакане» ( $d_k$ ), м | Усредненные физико-механические свойства |                  | Диаметр «стакана» после взрыва ( $D_c$ ), м | Кол-во измеренных «стаканов», шт | Расчетная величина $P$ , $10^6$ Па, по (2) |
|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------|------------------|---------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------|
|                                                                       |                                                   |                                                    | $\sigma_{сж}$ , МПа                      | $c$ , $10^3$ МПа |                                             |                                  |                                            |
| Железнослюдоково-магнетитовый кварцит, (гор. -250м), глубина 445 м.   | 0,45                                              | 0,02                                               | 147,7                                    | 4,2              | 0,09                                        | 11                               | 15,8                                       |
|                                                                       | 0,5                                               | 0,02                                               | 129,5                                    | 4,8              | 0,11                                        | 15                               | 21,8                                       |
|                                                                       | 0,6                                               | 0,03                                               | 145,0                                    | 5,3              | 0,12                                        | 18                               | 40,1                                       |
|                                                                       | 0,48                                              | 0,03                                               | 160,5                                    | 5,1              | 0,11                                        | 11                               | 46,1                                       |
| Среднее                                                               | 0,51                                              | 0,025                                              | 145,7                                    | 4,85             | 0,108                                       | 55 (всего)                       | 33,7                                       |

величины горного давления от диаметра «стакана». Для расчетов из таблицы взяты средние значения параметров  $\sigma_{сж}$  и  $c$ .

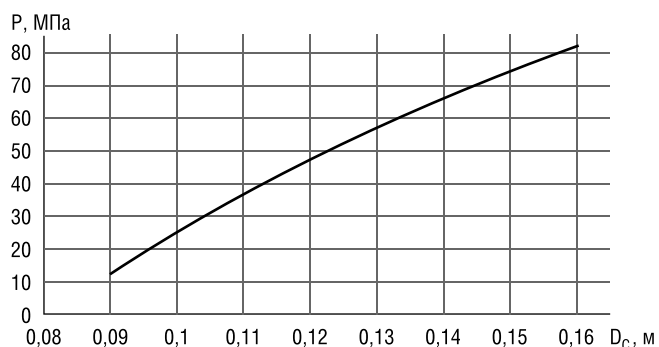


Рис. 2. Расчетная зависимость горного давления  $P$  от диаметра «стакана»  $D_c$  при проходке горных выработок в железистых кварцитах шахты им. Губкина.

Анализ (рис. 2) указывает на то, что с увеличением диаметра «стакана» горное давление в районе забоя шпура увеличивается. Кроме того, проведение натурных измерений для определения НДС массива при проходке горных выработок с использованием метода разгрузки на больших базах и метода шелевой разгрузки, проведенные на горизонте -250 м шахты им. Губкина силами лаборатории «Горного давления и сдвига горных пород», ОАО «ВИОГЕМ» в 2017-2021 гг. давали значения напряжений  $P = 15-40$  МПа [2], что соответствует данным таблицы 1 (15,8-46,1 МПа) и говорит о правомерности зависимостей (1, 2). На «Способ определения

напряженного состояния массива горных пород» авторы настоящей статьи имеют патент [20].

#### Выводы

Анализируя научно-техническую литературу, а также теоретические и промышленные экспериментальные исследования, численные расчеты и сравнение их с данными натурных измерений, представляется возможность использования взрыва шпуров для определения напряженного состояния массива.

Приведена теоретическая формула расчета напряженного состояния горного массива после взрыва шпура (скважины). Разработана аналитическая формула расчета величины горного давления, основанная на определении диаметра зоны раздавливания («стакана») после взрывания шпуровых зарядов аммонита 6ЖВ в условиях горизонта -250 м шахты им. Губкина.

Проведены численные расчеты величины горного давления в зависимости от диаметра «стакана», предела прочности на сжатие и скорости продольных волн для массивов железистых кварцитов шахты им. Губкина.

Расчетные значения напряженного состояния массива, определенные взрывным методом (15,8-46,1 МПа) соответствуют полученным ОАО «ВИОГЕМ» в 2017-2021 гг. методами разгрузки на больших базах и шелевой разгрузки (15,0-40,0 МПа), что указывает на правомерность формулы расчета (2).

Предложенный взрывной метод обладает оперативностью в исполнении, может служить для оценки напряженного состояния массива в процессе проходки горных выработок. ■

#### ЛИТЕРАТУРА

- Самойлов В.Л., Нефедов В.Е. Управление состоянием массива горных пород. - Донецк: ДОННТУ, - 2016. - 204 с.
- Сергеев, С.В., Сеница И.В. Геомеханическое сопровождение подземной отработки железных руд на комбинате «КМАруда» // Горный журнал. - 2019. - № 8. - С. 30-33. DOI: 10.17580/gzh.2019.08.05.
- Хмелинин А.П. Разработка комплексного геофизического метода для выбора места заложения скважин геомеханических измерений и контроля процесса их бурения. - Новосибирск: ИГД СО РАН, - 2014 г. - с. 165.
- Шкурятник, В.Л. Методы определения напряженно-деформированного состояния массива горных пород. - М.: МГГУ, - 2012. - 112 с.
- Зубков А.В., Феклистов Ю.Г., Липин Я.И., Худяков С.В. Деформационные методы определения напряженного состояния пород на объектах недропользования // Проблемы недропользования. - 2016. - № 4. С. 41-49. DOI: 10.18454/2313-1586.2016.04.041.
- De Souza J. C., Da Silva A. C.S., Rocha S.S. Analysis of blasting rocks prediction and rock fragmentation results using split-desktop software // Tecnologia em Metalurgia Materiais e Mineração. 2018. Vol. 15. No. 1. P. 22-30. DOI:10.4322/2176-1523.1234.
- Duc-Phi D; Nam-Hung Tran; Hong-Lam Dang; Dashnor Hoxha. Closed-form solution of stress and stability analysis of wellbore in anisotropic permeable rock // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2019. Vol. 113.P. 11-23. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2018.11.002.



8. De-sheng Zhou, Haiyang Wang, Zexuan He, Yafei Liu, Shun Liu, Xianlin Ma, Wenbing Cai, J. Bao. Numerical study of the influence of seepage force on the stress field around a vertical wellbore // Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics (IF8.391), Pub Date : 2020-11-17, DOI: 10.1080/19942060.2020.1835733.
9. Ifran Shahrin; Radzuan Sa'ari; Rini Asnida Abdullah. Effect of Burden to Hole Diameter Ratio on Rock Fragmentation by Blasting using LS-DYNA // Rock Dynamics Summit (pp.697-701). DOI:10.1201/9780429327933-112.
10. Тюпин В.Н. Механизм формирования зоны остаточных напряжений при взрывании в трещиноватом гранитном массиве рудников ПАО «ППГХО» // Горный журнал. - 2020. - №10. - С.60-64. DOI:10.17580/gzh.2020.10.04.
11. Павлов А.М. Прогноз геомеханического состояния массива горных пород глубоких горизонтов Зун-Холбинского месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2020. - № 5. - С. 105-114. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-50-105-114.
12. Брызгалов В.И., Барышников В.Д., Булатов В.А., Гахова Л.Н. Контроль напряженно-деформированного состояния плотины Саяно-Шушенской ГЭС // ГТС. - 2000. - № 10. - С. 51-55.
13. Рассказов И.Ю., Федотова Ю.В., Сидляр А.В., Потапчук М.И. Анализ проявлений техногенной сейсмичности в удароопасном массиве пород Николаевского месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2020. - № 11. - С. 46-56. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-11-0-46-56.
14. Менгель Д.А. Изменение первоначального напряженного состояния северного участка Соколовского месторождения в процессе отработки // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2020. - № 3-1. - С. 138-148. DOI: 10.25018/02361493-2020-31-0-138-148.
15. Масаев Ю.А., Масаев В.Ю. Исследование условий формирования зон трещинообразования в породном массиве при сооружении горных выработок с применением взрывных работ // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. - 2020. - № 1. - С. 17-22.
16. Масаев, Ю.А. Исследование влияния напряженного состояния горного массива на эффективность взрывных работ // Вестник Кузбасского государственного технического университета. Материалы II Российско-Китайского симпозиума «Строительство подземных сооружений и шахт», 2002, № 5. - С. 53-54.
17. Голик В.И., Комашенко В.И., Качурин Н.М., Стась Г.В. Исследование геодинамики массива в зоне сопряжения очистных и подготовительных выработок // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330. № 12. С. 82-90. DOI 10.18799/24131830/2019/12/2395.
18. Тюпин В. Н. Взрывные и геомеханические процессы в трещиноватых напряженных горных массивах. - Белгород: ИД - «Белгород», 2017. - 192 с.
19. Тюпин В. Н., Рубашкина Т. И. Взрывные методы определения напряженного состояния массивов горных пород. // ФТПРПИ. - 2018. - № 4. - С. 44-50.
20. Патент RU 2768768. Способ определения напряженного состояния массива горных пород / В.Н. Тюпин, К.Б. Пономаренко. - №2021115801; заявл. 02.06.2021.



## РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ДРУЖБЫ НАРОДОВ

### Информируем Вас



**Факультет Инженерная академия специальность Геология**

Целью обучения является подготовка квалифицированных специалистов в области геологии, способных разрабатывать инновационные методы решения производственных задач в области поиска и разведки месторождений нефти, газа и твердых полезных ископаемых.

Во время обучения студенты получают знания, формируют навыки и умения в области анализа современного состояния и актуальных проблем геологической науки, поиска и изучения геологической, геофизической, геохимической информации и космических снимков, применения методов комплексных геолого-геофизических исследований, создания трехмерных геологических моделей, приобретают опыт самостоятельной научно-исследовательской, прикладной и педагогической работы.

Задачи обучения направлены на привитие навыков ориентирования в аналоговых и цифровых геологических данных, формирование представлений о назначении инновационных методов геолого-геофизических исследований и обработки информации, развитие навыков применения инновационных методов прогноза месторождений полезных ископаемых и ориентирования в специализированных программах при эффективном использовании их возможностей.

**Контакты:** 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6. Приемная комиссия (Граждане РФ) +7 (495) 433-95-88, +7 (495) 787-38-27 доп.: 1214. priem@rudn.ru. КОНТАКТ-ЦЕНТР: +7 (499) 936-87-87. information@rudn.ru

## WWW.N-GN.RU