

УДК 622.831.232

Харисов Тимур Фаритович

младший научный сотрудник
лаборатории геомеханики
подземных сооружений,
Институт горного дела УрО РАН,
620075, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
e-mail: Timur-ne@mail.ru

Князев Денис Юрьевич

младший научный сотрудник
лаборатории геомеханики
подземных сооружений,
Институт горного дела УрО РАН
e-mail: knyazev@igduran.ru

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПОРОДНЫХ СТЕНОК СТВОЛА В ПРОЦЕССЕ ПРОДВИЖЕНИЯ ЗАБОЯ В УСЛОВИЯХ ЗАПРЕДЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА

Аннотация:

На основании результатов выполненных натурных исследований напряженно-деформированного состояния породных стенок ствола в процессе его строительства по совмещенной технологической схеме получена математическая модель зависимости корректирующего понижающего множителя α^* от отношения расстояния до забоя к радиусу выработки в черне. Проведен сравнительный анализ изменения α^* в массиве, находящемся в условиях упругого деформирования, и в массиве, находящемся в предельном состоянии.

Ключевые слова: деформации, вмещающий массив, предел прочности, строительство ствола, уход забоя, конвергенция

DOI: 10.18454/2313-1586.2017.01.096

Kharisov Timur F.

junior researcher,
The Institute of mining UB RAS,
620075 Yekaterinburg,
58 Mamin-Sibiryak st.
e-mail: Timur-ne@mail.ru

Knyazev Denis Yu.

junior researcher,
The Institute of mining UB RAS,
e-mail: knyazev@igduran.ru

THE REGULARITIES OF DEFORMING THE SHAFT'S ROCK WALLS DURING THE PROCESS OF FACE ADVANCING IN THE CONDITIONS OF ROCK MASS LIMIT-EXCEEDING STRESSED- DEFORMED STATE

Abstract:

In terms of the results of performed natural researches of the shaft's rock mass walls stressed-deformed state in the process of its construction according to combined technological scheme, the mathematical model of dependence of the correcting lowering multiplier α^* is obtained from the distance till a face to radius of the working in rough. The comparative analysis of α^* change in the rock mass in the conditions of elastic deforming as well as in the rock mass being in an limit-exceeding state is carried out.

Key words: deformations, the enclosing rock mass, ultimate strength, shaft construction, face leaving convergence.

Нарушение крепи шахтных стволов, вызванное деформацией окружающего массива, в основном происходит в процессе строительства. При проходке выработки ствола происходит разгрузка вмещающего массива, сопровождающаяся смещением породных стенок к центру выработанного пространства (конвергенция) [1]. Зона деформаций вмещающего массива в процессе строительства стволов начинается впереди забоя и охватывает призабойную часть выработки. Сдерживающее влияние забоя препятствует полной реализации смещений породных стенок выработки в призабойной области [2, 3]. Уход забоя в процессе строительства ствола провоцирует смещения породных стенок U к центру выработки. Рост деформаций породных стенок ствола происходит постепенно по мере продвижения забоя.

Учет смещений окружающего породного массива, вызванных уходом забоя, решается введением корректирующего понижающего множителя α^* , выражающего долю нереализовавшихся деформаций, вызванных уходом забоя выработки, которые выражаются следующей формулой [4]:

$$U = U_{\infty}(1 - \alpha^*), \quad (1)$$

где

$$\alpha^* = A \cdot \exp(\beta L / R). \quad (2)$$

Полные смещения U_{∞} , вызванные уходом забоя, реализуются на расстоянии, равном 3-м радиусам выработки [4] (рис. 1).

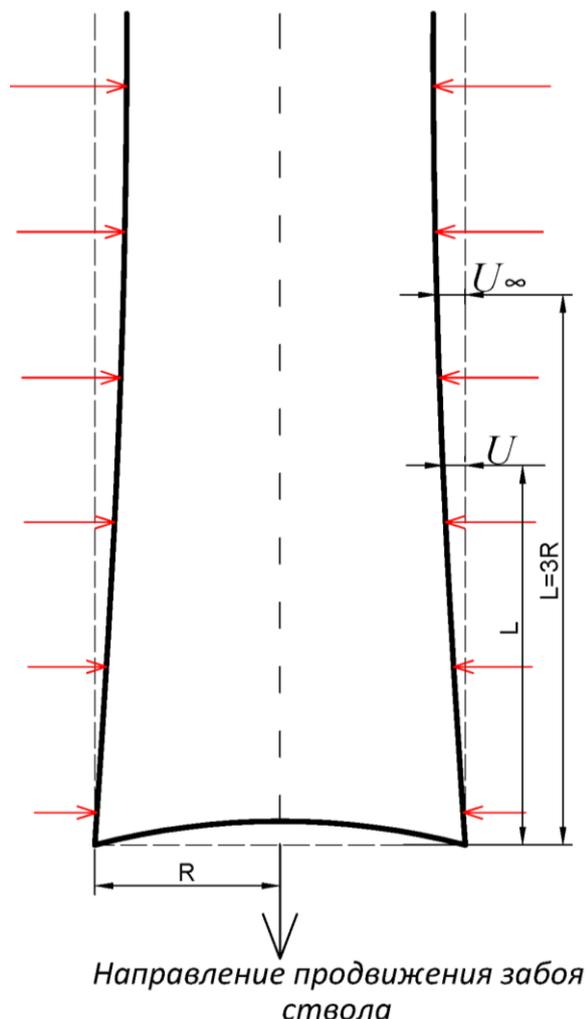


Рис. 1 – Схема смещений поверхности выработки в призабойной области без учета деформаций впереди забоя при $A=1$
 (L – расстояние от наблюдательной станции до забоя, R – радиус выработки в черне, U – деформация породных стенок, U_{∞} – полная деформация породных стенок)

Исследования конвергенции породных стенок в призабойной зоне выработки, вызванной продвижением забоя, были выполнены такими учеными, как М. Баудендистел, Б. З. Амусин, Н. С. Булычев, А. В. Зубков, А. Е. Балек.

М. Баудендистел, используя метод конечных элементов, получил значение α^* (коэффициент нагрузки) [4]:

$$\alpha^* = 0,64 \exp(-1,75L / R), \quad (3)$$

где L – расстояние от наблюдательной станции до забоя, м; R – радиус выработки в черне, м.

Доктор технических наук Б.З. Амусин на основании обработки результатов натуральных наблюдений за смещениями пород в выработках предложил следующую эмпирическую формулу для определения указанного множителя [4]:

$$\alpha^* = \exp(-1,3L / R). \quad (4)$$

Н.С. Булычев также сделал большой вклад в изучение влияния забоя на поле напряжений окружающего массива и вывел экспоненциальную зависимость, исходя из корреляционного анализа, полученного М. Баудендистелом [4]:

$$\alpha^* = 0,6 \exp(-1,38L/R). \quad (5)$$

Доктор технических наук А.В. Зубков выполнил большую работу по изучению влияния уходки забоя на напряженно-деформированное состояние вмещающего массива. Было проведено объемное моделирование на пенопласте [5]. В результате были определены величины деформаций стенок выработки с круглым сечением при продвижении забоя (рис. 2). Линии тренда деформаций растяжения (верхняя линия) и сжатия (нижняя линия) выполаживаются при $l/R=2$, то есть зона влияния забоя равна двум радиусам выработки.

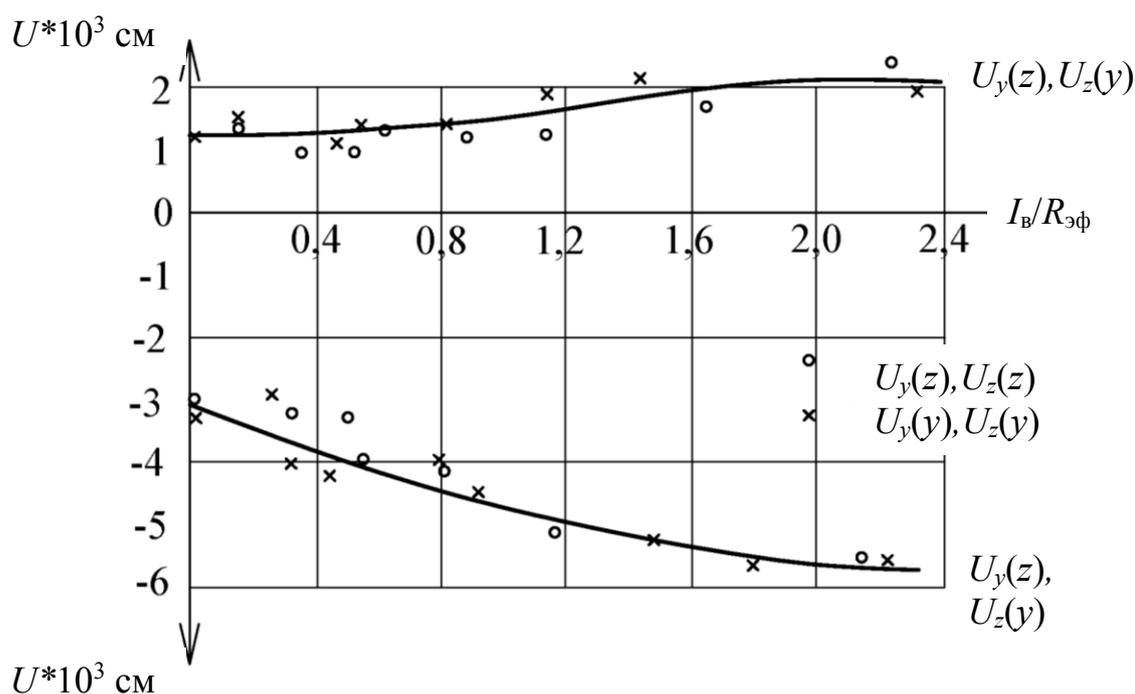


Рис. 2 – График радиальной деформации контура круглой выработки от нагрузок

Доктор технических наук А.Е. Балеж в результате исследования напряженно-деформированного состояния массива и крепи стволов Донского горно-обогатительного комбината вывел экспоненциальную зависимость [2]:

$$\alpha^* = 0,55 \exp(-1,75L/R). \quad (6)$$

Все исследования и расчеты α^* , выполненные ранее, были произведены в условиях упругой модели неразрушенного горного массива с действующими гравитационными и тектоническими напряжениями, не превышающими предел прочности массива. Массивы, находящиеся в запредельном напряженном состоянии, когда тектонические напряжения превышают предел прочности массива, деформируются иначе. Происходит растрескивание горного массива, сопровождающееся взаимными подвижками структурных породных блоков. Отсюда следует сделать вывод, что необходимо провести дополнительные исследования закономерности изменения множителя α^* в зависимости от расстояния до забоя в процессе строительства ствола в массиве, находящемся в запредельном напряженно-деформированном состоянии.

В стволе «Клетевой» шахты «Центральная» выполнены исследования деформации (конвергенции) породных стенок ствола в серпентинитовом массиве. Особенность массива заключается в том, что на глубине более 500 м он находится в запредельном

напряженном состоянии. Тектонические напряжения превышают его предел прочности, в результате чего происходит растрескивание горного массива, сопровождающееся взаимными подвижками структурных породных блоков [6].

Измерения деформаций вмещающего массива проводились на глубине 800 – 830 м в тубинговых кольцах № 348, 350, 354, 357, 360, 363, 365 ствола «Клетевой» в процессе его проходки по совмещенной технологической схеме. Замеры проводились на больших базах, установленных в породе через тампонажные отверстия тубингов на глубину до 1 м. Измерения расстояния между этими реперами выполнялись в 4-х направлениях между тубингами 1-9, 3-11, 5-13, 7-15 по азимутам через 45° по мере ухода забоя от места установки реперов (рис. 3) [7].

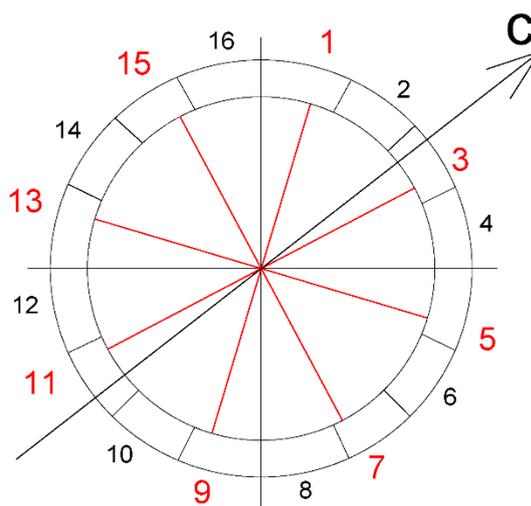


Рис. 3 – Схема размещения измерительных станций в стволе «Клетевой»

Результаты натурных измерений представлены на рис. 4. Каждая точка отображает результат замера уровня деформаций окружающего массива при различных расстояниях от наблюдательной станции до забоя ствола в процессе его проходки.

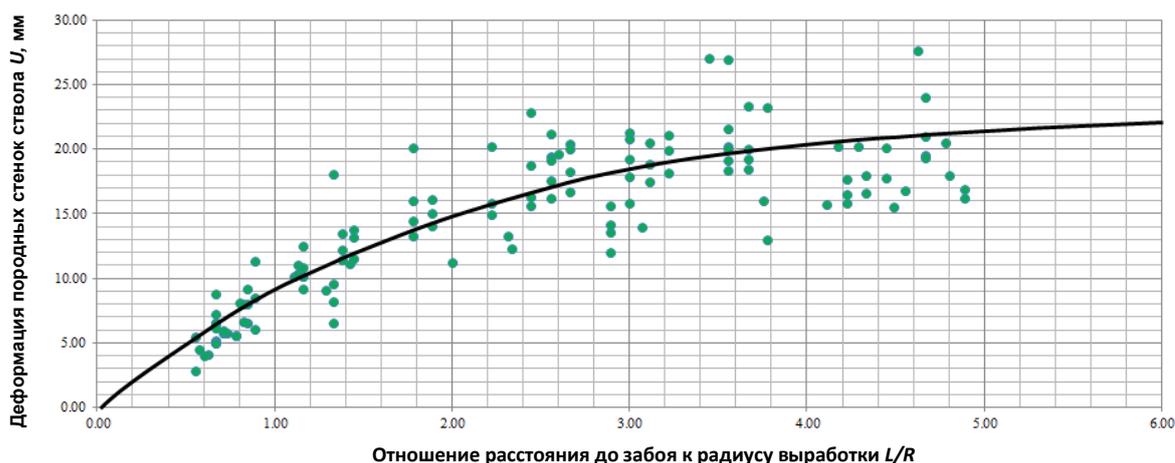


Рис. 4 – График зависимости деформации породных стенок ствола U от отношения расстояния до забоя ствола к радиусу выработки в черне

При использовании полученных результатов измерений с помощью компьютерной программы построения функционально-факторных уравнений нелинейной регрессии «Тренды ФСП-1» [8] была получена следующая математическая модель зависимости при коэффициенте детерминации, равном $R^2=0,80$:

$$U = 24,03(1 - \exp(-0,48L/R)). \quad (7)$$

Черной линией изображен тренд изменения значений U – деформаций при увеличении расстояния до забоя. Нарастание U происходит постепенно, 70 % деформаций реализуется при расстоянии, равном двум радиусам исследуемой выработки. Выполживается график при $U_{\infty}=24,03$ мм, что свидетельствует о полной реализации деформаций, вызванных уходом забоя ствола, на расстоянии, равном 7 – 8 радиусов выработки вчерне.

Из полученной математической модели деформации (7) выделена экспоненциальная зависимость коэффициента α^* от отношения расстояния до забоя к радиусу выработки вчерне, которая имеет вид:

$$\alpha^* = \exp(-0,48L / R). \quad (8)$$

Полученные значения коэффициента α^* в условиях запредельного напряженно-деформированного состояния вмещающего массива существенно отличаются от значений, полученных учеными ранее. На рис. 5 представлены результаты, полученные автором, в сравнении с результатами, полученными Б.З. Амусиным, М. Баудендистелом, Н.С. Бульчевым, А.В. Зубковым и А.Е. Балек. На представленном графике видно, что зона влияния забоя в исследуемом массиве в 2 – 2,5 раза больше, чем в массиве в условиях упругого деформирования, и составляет 7 – 8 радиусов выработки вчерне.

Столь существенное различие позволяет сделать *вывод*: значения множителя α^* и закономерности его изменения, полученные ранее предшественниками, не применимы для всех видов массивов. Если поле напряжений массива превышает его предел прочности и массив перестает вести себя как упругая среда, предлагается применять закономерности изменения α^* , полученные автором статьи (8).

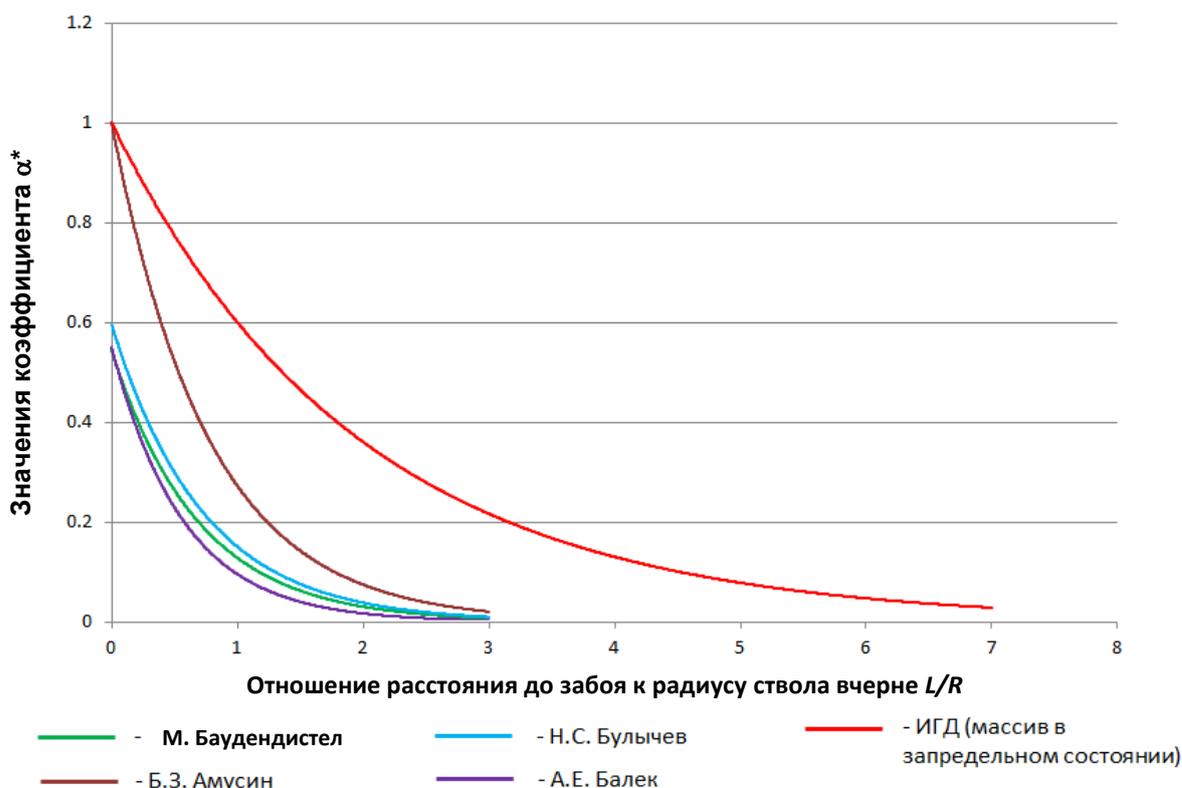


Рис. 5 – Зависимость значения α^* от отношения отставания крепи от забоя к радиусу ствола $y=L/R$

Литература

1. Боликов В.Е. Напряженно-деформированное состояние бетонной крепи при строительстве вертикальных стволов / В.Е. Боликов, Т.Ф. Харисов, И.Л. Озорнин // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2011. – ОВ № 11. - С. 77 - 86.
2. Боликов В.Е. Исследования поведения неустойчивых напряженных горных массивов при строительстве шахтных стволов / В.Е. Боликов, А.Е. Балек // Горный вестник. - 1995. - № 4. - С. 45 - 48 .
3. Сашурин А.Д. Формирование напряженно-деформированного состояния иерархически блочного массива горных пород / А.Д. Сашурин // Проблемы недропользования. - 2015. - № 1 (4). - С. 38 - 44.
4. Булычев Н.С. Механика подземных сооружений / Н.С. Булычев. - М.: Недра, 1994.
5. Разработка методов и аппаратуры для оценки напряженного состояния пород в нетронутом массиве / И.В. Афонин, Н.П. Влох, Б.П. Жуков, А.В. Зубков и др. // ИГД. – Свердловск, 1979.
6. Деструкция земной коры и процессы самоорганизации в областях сильного техногенного воздействия / А.Д. Сашурин, А.Е. Балек, Т.Ш. Далатказин, В.В. Мельник, А.Л. Замятин, Ю.П. Коновалова, С.В. Усанов // Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. - С. 119 - 178.
7. Харисов Т.Ф. Формирование напряжений в крепи при строительстве вертикальных стволов в тектонически напряженном горном массиве / Т.Ф. Харисов, И.Л. Озорнин // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. - 2013. - № 6. - С. 60 - 67.
8. Антонов В.А. О программе для ЭВМ "Тренды фсп-1" и ее применении в информационных системах горных предприятий / В.А. Антонов, М.В. Яковлев // Информационные технологии в горном деле: доклады Всероссийской научной конференции с международным участием / Институт горного дела УрО РАН. – Екатеринбург, 2012. - С. 26 - 34.