

ВЛИЯНИЕ НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ АНКЕРНОЙ КРЕПИ ПАРАМЕТРОВ СКВАЖИНЫ И ГЛУБИНЫ ЗАДЕЛКИ АНКЕРНОГО СТЕРЖНЯ

Максимов Р.Н., Сахнов А.В., Мулухов К.К., Дедегкаева Н.Т., Котова О.А.

Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), Владикавказ

Ключевые слова: подземная разработка, горные выработки, анкерная крепь, несущая способность, моделирование проявлений горного давления, смещения кровли.

Аннотация. Работа посвящена исследованию влияния на несущую способность анкерной крепи параметров скважины и глубины заделки анкерного стержня при проведении горизонтальных горных выработок на больших глубинах. Для решения поставленных задач применено моделирование с использованием метода эквивалентных материалов, при различных нагрузках на модель и состояния крепления выработки. В ходе моделирования определены особенности использования армополимерных анкеров глубокого заложения и влияния на несущую способность анкерной крепи степень заполнения скважины скрепляющим материалом. По результатам моделирования были установлены эмпирические зависимости смещения кровли по камерам в зависимости от величины нагрузок на массив и состояния выработки. Результаты работы могут использоваться на горнорудных предприятиях при проектировании технологии проведения и крепления горных выработок.

INFLUENCE OF THE BOREHOLE PARAMETERS AND ANCHOR ROD SETTLEMENT DEPTH ON THE SUPPORTING CAPACITY OF ANCHOR STRIPS

Maksimov R.N., Sakhnov A.V., Mulukhov K.K., Dedegkaeva N.T., Kotova O.A.

North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Vladikavkaz

Keywords: underground mining, mine workings, anchor support, load-bearing capacity, modeling of rock pressure manifestations, roof displacement.

Abstract. The work is devoted to the study of the influence of the parameters of the well and the depth of the anchor rod embedding on the bearing capacity of the anchor support when conducting horizontal mine workings at great depths. To solve the set tasks, modeling was used with the method of equivalent materials, under different loads on the model and the state of the mine workings support. During the modeling, the features of the use of deep-laying armopolymer anchors and the influence of the degree of filling the well with the bonding material on the bearing capacity of the anchor support were determined. Based on the results of the modeling, empirical dependences of the roof displacement by chambers depending on the magnitude of the loads on the massif and the state of the mine workings were established. The results of this work can be used at mining enterprises when designing the technology for conducting and securing mine workings.

Введение. При проведении горных выработок на больших глубинах вокруг выработок происходит образование кольцеобразных чередующихся зон ненарушенных и сильно нарушенных раздробленных пород [1]. В этих условиях капитальные выработки, закрепленные жесткой или податливой крепью без обратного свода, на глубоких горизонтах в большинстве случаев нарушаются (рис. 1).

Особенно это проявляется тогда, когда выработки пройдены по глинистым или песчанистым породам, склонным к пучению и выдавливанию. В большинстве таких выработок наблюдается пучение почвы, боков и кровли выработанного пространства, достигающее на отдельных участках 0,1-0,5 м (рис. 2) [2].

Применение против пучения анкеров не дает положительных результатов, в то время как применение замкнутых крепей с пониженным обратным сводом дает эффект во всех случаях [3, 4].

Большинство известных исследований опубликованных в технической литературе относятся к исследованию работоспособности анкеров замковых или с песчано-цементным

закреплением длиной до 2,5 м [3, 4]. При использовании сталеполимерных анкеров глубокого заложения необходимо рассмотреть, как влияют на несущую способность анкерной крепи степень заполнения скважины скрепляющим материалом и длина анкеров.



Рис. 1. Обрушение пород кровли в доставочном штреке

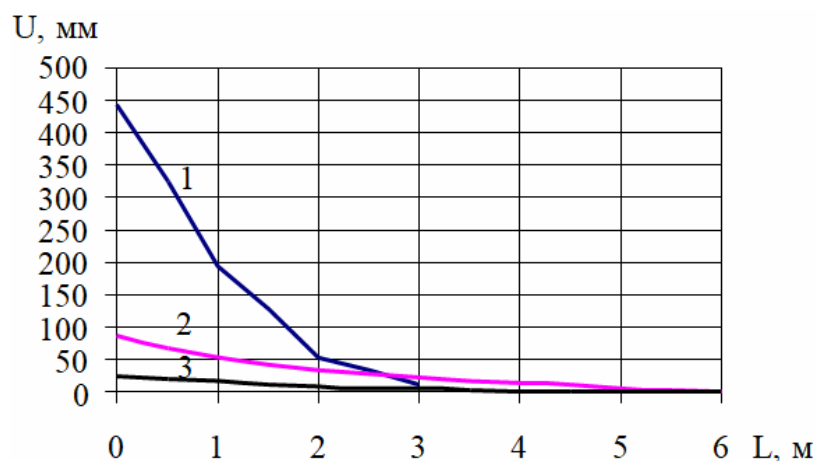


Рис. 2. График зависимости смещений пород от глубины заложения реперов:
1 – смещения пород почвы, 2 – боков выработки, 3 – кровли [4]

Материалы и методы исследований. Решение поставленных задач осуществлялось методом сравнения результатов экспериментов, полученных на одинаковых моделях, отличающихся лишь искомым параметром. Для моделирования с использованием метода эквивалентных материалов требуется соблюдение геометрических, физических, граничных, временных условий [4].

Общий массив модели формировался слоистым и трещиноватым. Необходимая прочность моделируемого массива подбиралась путем предварительных испытаний серии образцов с различным составом связующих элементов. Связующими элементами песка являлись эпоксидная смола, полиамид и глицерин. В качестве дополнительных вяжущих, отражающих структуру пород, при приготовлении пластичных смесей использовался технический вазелин и графит. Средняя прочность монолитных образцов составила 8 кг/см^2 , а слоистых и трещиноватых образцов – 4 кг/см^2 . Из массива вырезались блоки, размеры которых, исходя из технических возможностей силовой установки, составляли: по фронту – 300 мм, по высоте – 250 мм, по толщине – 150 мм [3, 4]. Для получения трех блоков изготавливался массив из песчано-эпоксидной смеси длиной 1,6 метра, по высоте и ширине он соответствовал размерам блоков. В нижней части блока модели проходила камера шириной 16 см и высотой 6 см, что в масштабе моделирования 1:50 в натурных условиях

соответствовало 8 и 3 м. Во всех моделях бока камер закреплены анкерами, а в кровлях установлена анкерная крепь глубокого заложения. Причем в первой модели штанги закреплены по всей длине, во второй – на 2/3 длины, в третьей – на 1/3 длины со стороны хвостовой части.

Задача о напряженно-деформированном состоянии массива вокруг выработок сводится к распределению напряжений в бесконечной плоскости с полостью сводчатой формы, сжимаемой усилиями γH в вертикальном и $\lambda \gamma H$ горизонтальном направлениях [5-10]:

$$\sigma_y^{(\infty)} = \gamma H; \sigma_x^{(\infty)} = \lambda \gamma H; \tau_{xy}^{(\infty)} = 0, \quad (1)$$

где λ – коэффициент бокового распора в нетронутом массиве; $\tau_{xy}^{(\infty)}$ – приложенное внешнее напряжение; H – глубина заложения выработки; γ – средняя плотность пород.

Для решения задачи применим метод малого параметра. Функцию напряжений $\Phi(r, \theta)$ в бесконечной плоскости с полостью горной выработки можно представить в виде разложения по малым параметрам ϵ и δ , характеризующим соответственно криволинейность проектного контура выработки и величину отклонения напряжений в нетронутом массиве от гидростатического их распределения:

$$\Phi_{(r, \theta)} = \sum_{i=0}^{\infty} \sum_{j=0}^{\infty} \epsilon^i \delta^j \Phi^{(i, j)}(r, \theta), \quad (2)$$

где $\delta = \frac{1-\lambda}{2}$; $\Phi^{(i, j)}(r, \theta)$ – функция напряжений при i -ом и j -ом приближениях по параметрам ϵ и δ ; $\Phi_{(r, \theta)}$ – функция напряжений в бесконечной плоскости; ϵ – компонент деформаций в полярной системе координат; r – радиальная координат; θ – пластическая дилатансия.

Функция напряжений в бесконечной плоскости без отверстия при условии (2) имеет вид

$$F_{(r, \theta)} = 2\gamma H r^2 (\lambda_1 + \delta \cos 2\theta) \quad (3)$$

где $\lambda_1 = \frac{(1+\lambda)}{2}$; $F_{(r, \theta)}$ – функция напряжений.

Компоненты напряжений, соответствующие функции (3), равны:

$$\sigma_{\theta} = \gamma H (\lambda_1 + \delta \cos 2\theta);$$

$$\sigma_r = \gamma H (\lambda_1 - \delta \cos 2\theta);$$

$$\tau_{r\theta} = \delta \gamma H \sin 2\theta.$$

Для практических целей при решении задачи можно ограничиться в функции (3) как установлено выше, первым приближением по малым параметрам ϵ и δ

$$\Phi(r, \theta) = \Phi^{(0,0)}(r, \theta) + \epsilon \Phi^{(1,0)}(r, \theta) + \delta \Phi^{(0,1)}(r, \theta). \quad (4)$$

Отметим, что функция $\Phi^{(0,0)}$ и $\Phi^{(1,0)}$ в выражении (4) легко построить, используя результаты подраздела (2) значения их могут быть получены из предыдущих результатов при замене в них величины γH соотношением $\lambda_1 \gamma H$. Таким образом, задача сводится к построению функции $\Phi^{(0,1)}(r, \theta)$.

С целью создания эффекта объемного нагружения модель закрывалась со всех сторон жесткими стальными швеллерами, а пустоты и промежутки между моделью и металлическим каркасом тампонировались той же песчано-эпоксидной смесью [2, 3]. Нагружение моделей производилось при помощи прессы ступенями через 300 кг с выдержкой постоянной нагрузки на каждой ступени в течение 5-7 мин. Проведение экспериментов сопровождалось фиксацией на видеокамеру видимых нарушений в моделированном массиве вокруг камер. Фиксировались зоны разрушения среды и направление перемещения пород кровли внутрь камеры.

Результаты. В таблице 1 и на рисунке 3 приведены графики изменения смещений кровли по камерам в зависимости от величины нагрузок на массив модели глубины заделки анкерного стержня.

Табл. 1. Смещения кровли по камерам

Номера моделей/состояние крепи выработки	Смещение кровли (мм) при нагрузке на модель, кг/см ²					
	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
1 – штанги закреплены на всю длину	0,6	1,0	1,5	1,8	2,5	3,3
2 – закреплены на 2/3 длины скважины	0,65	1,4	1,7	2,0	2,7	3,5
3 – штанги закреплены на 1/3 длины скважины	0,7	1,6	1,8	2,4	3,0	4,0

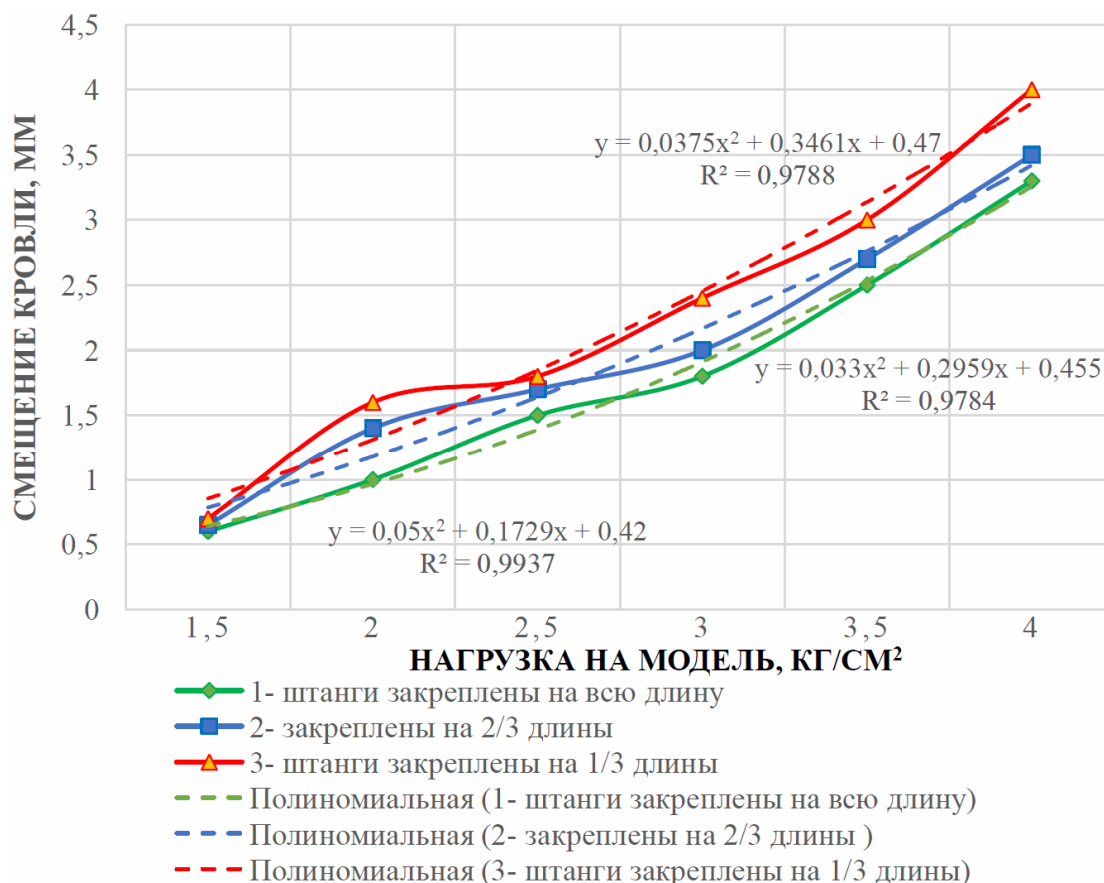


Рис. 3. Зависимость величины смещений кровли модели от величины прилагаемых нагрузок

Исследованиями установлены полиномиальные зависимости величины смещений кровли модели от величины прилагаемых нагрузок:

– первая модель, штанги закреплены по всей длине скважины

$$U = 0,05q^2 + 0,1729q + 0,42; \quad (5)$$

– вторая модель, закреплены на 2/3 длины скважины

$$U = 0,033q^2 + 0,2959q + 0,455; \quad (6)$$

– третья модель, штанги закреплены на 1/3 длины скважины

$$U = 0,375q^2 + 0,3461q + 0,47. \quad (7)$$

При нагружении моделей свыше 3 кг/см² относительный рост смещений кровли в выработке с закрепленными боковыми стенками равномерно снижается. И при нагрузке, равной 4 кг/см² это уменьшение достигает 0,8-1,0 мм при общем прогибе кровли в незакрепленной камере, равном 7 мм. В диапазоне изменения действующей на модели нагрузки от 3 до 4 кг/см² в области неупругих деформаций происходит уменьшение смещений кровли от 5 до 25%.

В незакрепленной выработке, пройденной в однородных породах, вертикальное смещение кровли, расположенной над боками камеры, происходит с опорой на овальную поверхность скольжения, которая плавно сопрягается с плоской почвой, криволинейная

поверхность скольжения переводит вертикальные смещения пород кровли в горизонтальные. Таким образом, происходит создание давления на боковые породы с их разрушением и выдавливанием. Дополнительные боковые нагрузки на стенки камеры вызывают увеличение смещений и в некоторой степени снимают смещения со стороны кровли.

Выводы. Проведенные исследования показали, что:

- в камере с закрепленными стенками плавное сопряжение поверхности скольжения, образуемой в боках кровли, происходит с плоскостью поверхности кровли;
- разрушение и рыхление пород при этом вызывают увеличение дополнительных смещений пород кровли;
- смещение пород кровли в зависимости от величины прикладываемых нагрузок и глубины заделки анкерного стержня изменяется по полиномиальной зависимости.

Заключение. Разная длина закрепления анкеров в скважине, приводит к созданию в кровле выработок разных механизмов взаимодействия пород, при этом предпочтительным является закрепления анкеров по всей длине скважины, так как обеспечивает минимальные смещения пород в зависимости от величины действующих нагрузок.

Финансовая поддержка. Работа выполнена в рамках проекта за счет средств федерального бюджета по государственному заданию «Лаборатория разработки экологически чистых и безотходных технологий утилизации техногенного сырья в подземном выработанном пространстве (ГеоЗакладка)». Код научной темы – FEFG-2025-0003.

Список литературы

1. Розенбаум М.А., Бадтиев Б.П. Определение параметров анкерной крепи в условиях проявления зональной дезинтеграции пород вокруг выработок // Записки Горного института. – 2015. – Т. 213. – С. 17-23.
2. Коваленко В.В., Рязанцев А.П. Обоснование параметров способа борьбы с пучением пород почвы в условиях угольных шахт. – Днепропетровск: Национальный горный университет, 2013. – 119 с.
3. Карелин В.Н., Марысюк В.П., Наговицин Ю.Н., Вильчинский В.Б., Звездкин В.А. Исследование геомеханического состояния рудопородного массива в поле рудника «Скалистый» // Горный журнал. – 2010. – №6. – С. 63-65.
4. Смирнов В.А., Звездкин В.А., Шабаров А.Н., Самородов Б.Н., Марысюк В.П. Прогноз и обеспечение устойчивости горных выработок на рудниках ГМК «Норильский Никель» // Горный журнал. – 2004. – №12. – С. 44-48.
5. Габараев О.З., Валиев Н.Г., Майстров Ю.А., Зассеев И.А. Обоснование параметров технологии отработки подработанных вкрапленных руд // Устойчивое развитие горных территорий. – 2017. – №1. – С. 109-115.
6. Рыльникова М.В., Калмыков В.Н., Ивашов Н.А. Вскрытие при комбинированной разработке медно-колчеданных месторождений // Горная промышленность. – 2003. – №2. – С. 38-42.
7. Рыльникова М.В., Калмыков В.Н., Ивашов Н.А. Эффективные схемы вскрытия при комбинированной разработке рудных месторождений // Недропользование – XXI век. – 2007. – №2. – С. 44-48.
8. Валиев Н.Г., Беркович В.Х., Пропп В.Д., Гусманов Ф.Ф. Рациональный способ повторного использования закладочного материала // VIII Международная научно-техническая конференция «Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений», г. Екатеринбург, 4-5 апреля 2019г. (Уральская горнопромышленная декада, г. Екатеринбург, 3-12 апреля 2019г.): сборник докладов. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2019. – С. 16-19.
9. Закладочные работы в шахтах: Справочник / Под ред. Д.М. Бронникова. – М.: Недра, 1989. – 400 с.
10. Зотеев О.В., Криницын Р.В. Влияние сухой закладки на несущую способность целиков // Проблемы недропользования. – 2019. – №4(23). – С. 144-155.

References

1. Rosenbaum M.A., Badtiev B.P. Determination of Anchor Support Parameters in the Conditions of Zonal Rock Disintegration Around Mine Workings // Journal of Mining Institute. 2015, vol. 213, pp. 17-23.
2. Kovalenko V.V., Ryazantsev A.P. Justification of the parameters of the method of controlling soil heaving in coal mines. – Dnepropetrovsk: National Mining University, 2013. – 119 p.
3. Karelin V.N., Marysyuk V.P., Nagovitsin Yu.N., Vilchinsky V.B., Zvezdskiy V.A. Investigation of the geomechanical state of the ore-bearing massif in the field of the Rocky mine // Mining journal. 2010, no. 6, pp. 63-65.
4. Smirnov V.A., Zvezdskiy V.A., Shabarov A.N., Samorodov B.N., Marysyuk V.P. Forecasting and ensuring the stability of mining operations at the mines of MMC Norilsk Nickel // Mining journal. 2004, no. 12, pp. 44-48.
5. Gabaraev O.Z., Valiev N.G., Maistrov Yu.A., Zasseev I.A. Substantiation of the parameters of the technology of mining of processed interspersed ores // Sustainable development of mountain territories. 2017, no. 1, pp. 109-115.

6. Rylnikova M.V., Kalmykov V.N., Ivashov N.A. Opening during combined development of copper-pyrite deposits // Russian mining industry. 2003, no. 2, pp. 38-42.
7. Rylnikova M.V., Kalmykov V.N., Ivashov N.A. Effective opening schemes for combined mining of ore deposits // Subsoil use – XXI century. 2007, no. 2, pp. 44-48.
8. Valiev N.G., Berkovich V.H., Propp V.D., Gusmanov F.F is a rational way to reuse the bookmark material // VIII International Scientific and Technical Conference "Innovative geotechnologies in the development of ore and non-metallic deposits", Yekaterinburg, April 4-5, 2019 (Ural Mining Decade, Yekaterinburg, April 3-12, 2019): collection of reports. – Yekaterinburg: USMU, 2019. – P. 16-19.
9. Laying works in mines: A reference book / Ed. by D.M. Bronnikov. – M.: Nedra, 1989. – 400 pp.
10. Zoteev O.V., Krinitsyn R.V. The effect of dry laying on the bearing capacity of the rear pillars // Problems of subsoil use. 2019, no. 4(23), pp. 144-155.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Максимов Руслан Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры горного дела	Maksimov Ruslan Nikolaevich – doctor of technical sciences, professor of the Department of mining
Сахнов Александр Владимирович – аспирант	Sakhnov Alexander Vladimirovich – postgraduate student
Мулухов Казбек Казгиреевич – доктор технических наук, профессор кафедры горного дела	Mulukhov Kazbek Kazgireevich – doctor of technical sciences, professor of the Department of mining
Дедегкаева Нина Таймуразовна – кандидат технических наук, доцент кафедры горного дела	Dedegkaeva Nina Taimurazovna – candidate of technical sciences, associate professor of the Department of mining
Котова Ольга Анатольевна – преподаватель кафедры горного дела maks.rn@mail.ru	Kotova Olga Anatolyevna – lecturer of the Department of mining

Получена 29.10.2025