

Исследования проявлений пучения пород в подготовительных выработках

Research into rock heaving in development workings

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2025-7-54-58>

КАМАРОВ Р.К.

Академик НАГН, канд. техн. наук,
профессор кафедры «Разработка
месторождений полезных ископаемых»
НАО «Карагандинский технический
университет имени Абылкаса Сагинова»,
100027, г. Караганда, Республика Казахстан,
e-mail: kamarov_49@mail.ru

МОСИН Д.В.

Магистрант кафедры «Разработка
месторождений полезных ископаемых»
НАО «Карагандинский технический
университет имени Абылкаса Сагинова»,
100027, г. Караганда, Республика Казахстан

Пучение пород в подземных горных выработках является одной из наиболее распространенных разновидностей проявления горного давления. Одним из условий, создающих пучение подготовительной выработки, являются обводненность выработок и высокая чувствительность глинистых пород к размоканию. Проведение горной выработки обуславливает в почве упруго-вязкие деформации, усиливающиеся во времени. Внутри этой зоны образуется пластическая область, которая также изменяет свои размеры во времени. Напряженное состояние пород в различных частях пластической области будет различным, что приводит к разным деформациям. При уменьшении различия прочности и пластических свойств пород почвы и боков выработки изменяется характер деформационных процессов. При выборе способа борьбы с пучением в первую очередь определяется необходимость применения дополнительных мероприятий. На основе проведенных в шахтных условиях исследований в работе предлагаются меры борьбы с пучением горных выработок.

Ключевые слова: горная выработка, почва выработки, горное давление, пучение пород, деформация, подготовительная выработка, устойчивость пород, крепь анкерная.

Для цитирования: Камаров Р.К., Мосин Д.В. Исследования проявлений пучения пород в подготовительных выработках // Уголь. 2025;(7):54-58. DOI: 10.18796/0041-5790-2025-7-54-58.

Abstract

Rock heaving in underground mine workings is one of the most common types of rock pressure manifestation. One of the conditions that cause heaving in development workings is the waterlogging of the workings and the high sensitivity of clayey rocks to softening. Mining operations cause viscoelastic deformations in the rocks, which intensity increases over time. A plastic deformation zone forms within this area, which also changes in size over time. The stress state of the rocks in various parts of the plastic deformation zone will be different, leading to different deformations. As the difference in the strength and plastic properties of the rock of the floor and the walls of the mine decreases, the nature of the deformation processes changes. When choosing a method to control heaving, the first step is to determine the need for additional measures. Based on the research conducted in actual mine conditions, this paper proposes measures to control heaving in mine workings.

Keywords

Mine workings, mine floor, rock pressure, rock heaving, deformation, development workings, rock stability, rock bolt support.

For citation

Kamarov R.K., Mosin D.V. Research into rock heaving in development workings. *Ugol'*. 2025;(7):54-58. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2025-7-54-58.

ВВЕДЕНИЕ

Пучение пород в подземных горных выработках является одной из наиболее распространенных разновидностей проявления горного давления, которая заключается в образовании области неупругих деформаций в результате выдавливания более мягких пород из-под угольных целиков.

Основными условиями проявления пучения пород в подготовительной горной выработке являются:

- резкое различие механических показателей основных пород и породы пучащего слоя;
- влияние горно-геологических и технологических факторов.

Устойчивость породных обнажений подготовительной выработки и прилегающих к ней пород зависит от физико-механических свойств горных пород и действующих в них напряжений, которые обусловлены массой вышележащих пород, тектоническими процессами и производством горных работ. Основной причиной проявлений горного давления в угольных шахтах является наличие в почве угольных пластов менее прочных прослоев горных пород.

ВЛИЯЮЩИЕ ФАКТОРЫ

Одним из условий, создающих пучение почвы горной выработки, являются обводненность выработок и высокая чувствительность глинистых пород к размоканию. Прочность глинистых сланцев при полном водонасыщении снижается в два и более раз. На интенсивность пучения выработки влияет мощность слоев пород со слабыми по прочности породами (табл. 1) [1].

При незначительном отличии прочностных параметров пород кровли, боков и почвы в условиях всестороннего сжатия происходит деформация пород по всему периметру выработки. В этом случае с увеличением начального радиуса выработки возрастает тангенциальная составляющая тензора напряжений, и увеличиваются смещения контура. В связи с этим необходимо строго разграничивать пучение почвы на два вида: вследствие напряженно-де-

формированного состояния всего массива вокруг пород выработки; выдавливания пород из-под целиков, играющих роль штампов.

Проведение горной выработки обуславливает в почве упруго-вязкие деформации, усиливающиеся во времени. Внутри этой зоны образуется пластическая область, которая также изменяет свои размеры во времени. Напряженное состояние пород в различных частях пластической области будет различным, что приводит к разным деформациям. При уменьшении различия прочности и пластических свойств пород почвы и боков выработки изменяется характер деформационных процессов.

Деформирование пород почвы подготовительных выработок изучают с помощью глубинных реперных станций. В выработках, не подверженных влиянию очистных работ (первый тип деформирования), деформации пород слоев почвы заключаются в незначительном расширении, меньше относительной продольной деформации породы по образцам ($15 \cdot 10^{-3}$ м). Полное затухание деформаций наблюдается через 150-300 сут. [2, 3, 4, 5, 6].

При втором типе деформирования у контура почвы располагается зона разрушенных пород. Коэффициент разрушения пород в ней со временем увеличивается, но это увеличение имеет затухающий характер. Размер разрушенной зоны достигает 2-3 м, а коэффициент расширения пород – 1,02-1,03. Далее за зоной разрушения до глубины 5-6 м располагается зона деформаций ползучести (упруго-вязких деформаций). Характер деформирования пород в этой зоне тоже затухающий. Относительные деформации слоев составляют $(10-5) \cdot 10^{-3}$ м. В случае третьего типа деформирования слои пород вблизи контура разрушаются вслед за проведением выработки. Коэффициенты расширения пород достигают 1,1. На глубине 2-3 м разрушение пород начинается с некоторым запозданием, т.е. имеет место длительное разрушение пород. На глубинах свыше 3-6 м породы подвержены деформациям ползучести.

Сравнение смещений по ширине выработки показывает, что интенсивность деформирования пород почвы в центре выработки несколько выше, чем по бокам [7, 8].

При образовании области неупругих деформаций проявление пучения связано с напряженным состоянием массива пород, т.е. с глубиной от поверхности. С увеличением глубины горных работ, относительное число пластов с проявлением пучения почвы заметно возрастает. При наличии в окружающих выработках пород пучащего слоя основным вопросом является определение объема пучения, т.е. объема породы, который будет выдавлен в выработку на

Таблица 1

Сведения о скорости пучения пород на одинаковой глубине (по В.А. Латыкину)

Information on the rate of rock heaving at the same depth (according to V.A. Latykin)

Породы непосредственной почвы пласта	Мощность непосредственной почвы, м	Средняя скорость пучения, мм/мес.
Песчанистый сланец	0,5	50 – 120
Глинистый сланец	0,5-0,6	60 – 80
Глинистый и песчанистый сланцы	0,75	100 – 150
Глинистый сланец	1,2	100 – 600
Песчанистый сланец	2,6	500 – 6

единицу ее длины или площади почвы. Имея такую оценку объема пучения, всегда можно подойти обоснованно к решению вопроса о необходимости крепления почвы выработки, а также о форме и конструкции этой крепи.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ БОРЬБЫ С ПУЧЕНИЕМ

При выборе способа борьбы с пучением в первую очередь определяется необходимость применения дополнительных мероприятий. После этого определяется возможность применения способов охраны, которые обуславливаются горно-геологическими условиями и наличием необходимых средств для выполнения требуемых работ, например, способ предотвращения пучения почвы горной выработки с образованием в боках выработки пониженных деформаций (рис. 1).

Все меры борьбы с пучением горных выработок разделены на четыре группы: использование благоприятных технических и горно-геологических условий; разгрузка породного массива; укрепление пород вокруг выработки; комбинированные способы.

Способы предотвращения пучения пород почвы горных выработок

Прослеживаются факты образования в кровле и почве выработки зон разгрузки с появлением растягивающих вертикальных напряжений. Эти зоны провоцируют развитие свода обрушения пород в кровле и пучения почвы.

Слабые обводненные породы склонны к пучению почвы выработки. На глубоких горизонтах доля пучения вертикальных смещений достигает 70-90%. Условия поддержания выработок, предопределяющие необходимость проведения мероприятий по борьбе с пучением, можно установить по критерию [9]:

$$\Omega = 0,025H/R_c,$$

где *H* – глубина расположения выработки, м; *R_c* – сопротивление пород почвы вдавливанию, МПа.

Критерии условий поддержания выработок по пучению пород и угля, расположенных в почве выработки, приведены в табл. 2 [10, 11].

С увеличением глубины разработки усложняются условия проведения и поддержания горных выработок из-за возрастания напряженного состояния горных пород.

Несмотря на повышение с глубиной прочностных свойств пород, давление на выработки увеличивается, проявляется склонность к пучению даже весьма крепких

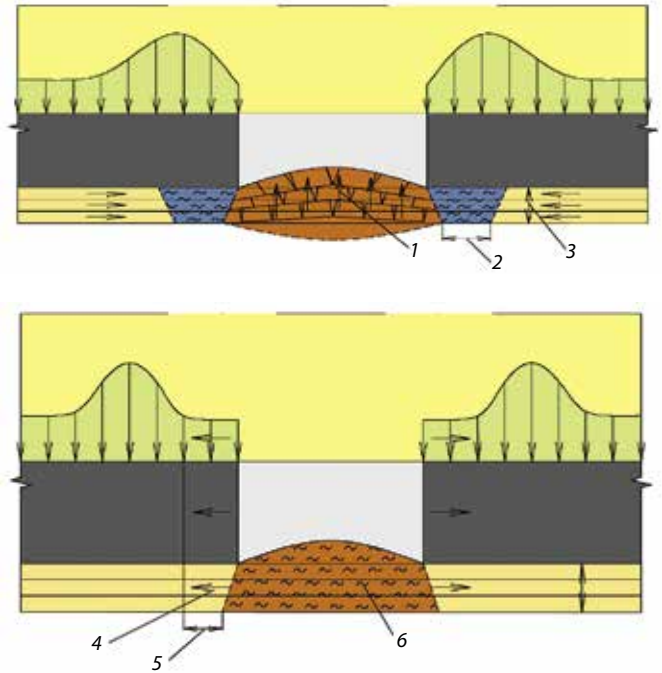


Рис. 1. Способ предотвращения пучения почвы горной выработки с образованием в боках выработки пониженных деформаций: 1 – деформации выдавливания горных пород; 2 – зона, подверженная деформациям выдавливания; 3 – деформации выдавливания; 4 – направление смещения зоны максимальных деформаций вглубь горного массива; 5 – величина смещения зоны максимальных деформаций вглубь горного массива; 6 – зона пониженных деформаций в породах почвы

Fig. 1. A method to prevent rock heaving in mine workings with formation of reduced deformations in the walls of the working: 1 – rock arching deformations; 2 – zone subject to the arching deformations; 3 – arching deformations; 4 – displacement direction of the maximum deformation zone into the rock mass; 5 – amount of displacement of the maximum deformation zone into the rock mass; 6 – zone of reduced deformation in the floor rocks

пород, возникают динамические явления (внезапные выбросы угля и газа, горные удары). К большим глубинам относят горизонты, на которых существенно изменяется характер проявления горного давления и ухудшается состояние горных выработок.

На основании наблюдений по условиям проведения и поддержания выработок выделяются следующие глу-

Таблица 2

Пределные значения критерия Ω при различных способах охраны пластовых выработок

Limit values of the Ω criterion for various methods of protecting in-seam workings

Способы охраны пластовых выработок	Значение Ω , при которых требуется проведение мероприятий по борьбе с пучением	
	Пород	Угля
Расположение выработки в массиве с погашением за забоем лавы, более	0,5	0,25
Сохранение выработки за забоем лавы с помощью искусственных сооружений для повторного использования, более	0,35	0,15
Расположение выработки вприсечку к выработанному пространству, более	0,65	0,2
Оформление выработки за лавой в выработанном пространстве, более	0,8	–

бины: малые (до 300 м), средние (300-600 м) и большие (более 600 м). Для сопоставления условий поддержания выработок можно использовать показатели $R_c/\gamma H$ и $R_{вд}/\gamma H$ (табл. 3). $R_{вд}$ – сопротивление пород почвы вдавлению штампа площадью 10 см², МПа; γ – плотность пород, МН.

На рис. 2 и 3 показаны деформации почвы и кровли в главном конвейерном уклоне k_9 гор. шахты «Саранская» Карагандинского угольного бассейна.

В настоящее время, с увеличением глубины разработки угольных пластов, на шахтах Карагандинского угольного бассейна возникает необходимость борьбы с пучением подготовительных выработок. К основному из существующих методов борьбы с пучением относится подрывка горной выработки. Данный метод имеет существенные недостатки. Подрывка горной выработки – технологически сложный и затратный метод борьбы с пучением почвы, нуждающийся в применении дорогостоящего оборудования. Технология установки анкерного крепления в бока выработки позволяет значительно сократить данные недостатки.

ТЕХНОЛОГИЯ УПРОЧНЕНИЯ ПОРОД ПОЧВЫ

Технология подразумевает установку припочвенных анкеров из стекловолокна в бока горной выработки на расстоянии 0,2-0,4 м от ее почвы. Анкеры устанавливаются через 0,5-0,7 м вкрест друг к другу под углом 50-65° к углу наклона выработки (рис. 4).

Технический результат заключается в сохранении устойчивого состояния выработки на весь период эксплуатации без дополнительных затрат на ремонтные работы за счет обеспечения эффективной работы анкерной крепи в зоне влияния очистных работ, что позволит повторно использовать данную выработку при подготовке фронта очистных работ.

Способ борьбы с пучением почвы горных выработок включает в себя проходку выработки и установку в почву у ее бортов наклонных анкеров. Причем одновременно с проходкой выработки определяют мощность слоев почвы и степень ослабленности механического контакта по этим слоям, устанавливают в почву выработки, у ее бортов реперы и при их сближении по увеличению степени ослабленности механического контакта определяют мощность пучающего слоя почвы.

Анкеры устанавливают под углом к вертикали 20-30°, их длину определяют по расчетной формуле. После определения мощности пучающего слоя в почву у бортов выработки устанавливают сталеполимерные анкеры (например, длиной 2,4 м) с заложением их под углом 30-45° (а) к напластованию. По мере закрепления в шпурах с помощью ампул образуются породные блоки вокруг анкеров, связанные между собой силами сцепления укрепленных пород. За счет этого создается несущий свод (контур укрепления) для снижения значительных сжимающих усилий с боков выработки, приводящих к продольно-поперечному изгибу слоев с последующей потерей ими устойчивости и выпиранию внутрь выработки.

Причем для увеличения несущей способности и обеспечения податливости опорных элементов анкера устанавливают конусную проставку. Для обеспечения разгрузки пород почвы от напряжений, шпуры для установки анкеров разбуривают на глубину 1-1,2 м диаметром, большим в два раза, что нарушает

Таблица 3

Классификация условий поддержания выработок

Classification of conditions for supporting underground workings

Условия поддержания выработок	$R_c/\gamma H$
Легкие, более	3,5
Средние	1,7 – 3,5
Тяжелые, менее	1,7

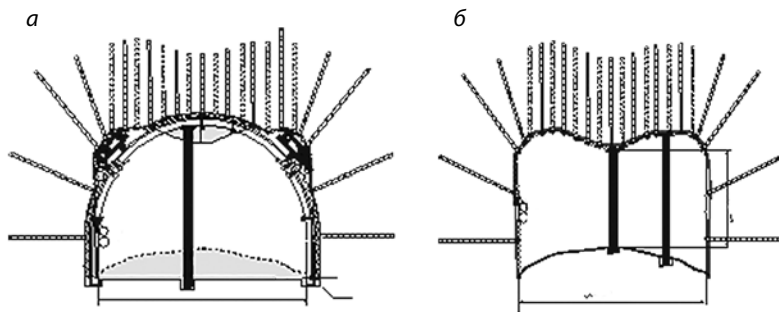


Рис. 2. Деформации почвы (а) и кровли (б) в главном конвейерном уклоне k_9 гор. шахты «Саранская» Карагандинского угольного бассейна
 Fig. 2. Deformations of the floor (a) and the roof (b) in the k_9 main conveyor incline in Level 7 of the Saranskaya mine in the Karaganda coal basin



Рис. 3. Деформации выработок по середине (а) и по бокам (б) выработок и их измерение (в)
 Fig. 3. Deformations in the middle (a) and on the walls (b) of the workings and their measurements (v)

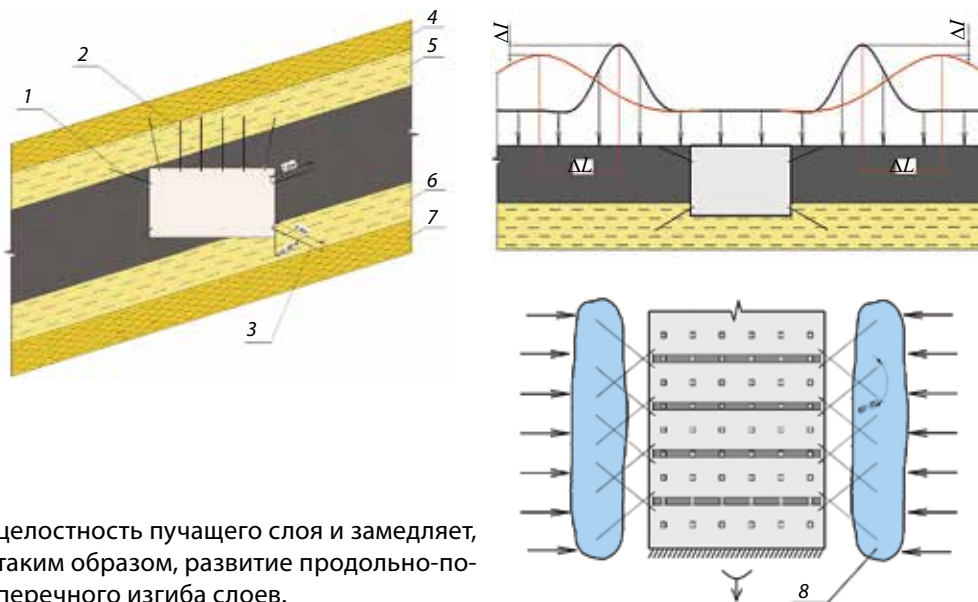


Рис. 4. Технология установки анкерного крепления в бока горной выработки:
 1 – боковые анкеры;
 2 – кровельные анкеры;
 3 – припочвенные анкеры;
 4 – основная кровля;
 5 – непосредственная кровля;
 6 – непосредственная почва;
 7 – основная почва;
 8 – закрепленный припочвенный контур

Fig. 4. A method to install rock bolts into the walls of a mine working: 1 – wall rock bolts; 2 – roof rock bolts; 3 – near-floor rock bolts; 4 – main roof; 5 – immediate roof; 6 – immediate floor; 7 – main floor; 8 – secured near-floor contour

целостность пучащего слоя и замедляет, таким образом, развитие продольно-поперечного изгиба слоев.

Производственные процессы, связанные с возведением анкерного крепления, не являются сдерживающим фактором добычи угля в очистном забое, так как скорость их возведения опережает скорость подвигания очистного забоя в 4-5 раз.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение средств механического отпора выдавливанию пород почвы выработок эффективно влияет на состояние почвы выработки; с увеличением уровня силового воздействия на почву выработки уменьшается величина ее смещений; для обеспечения устойчивого состояния почвы выработки после подрывки необходимо компенсировать отпор извлекаемых пород сравнительно небольшими усилиями на почву выработки.

Необходимо активизировать поиск новых технологических решений в плане применения рассредоточенной нагрузки для повышения эффекта противодействия выдавливанию пород почвы после проведения их подрывки.

На основе проведенных в шахтных условиях исследований в работе предлагаются меры борьбы с пучением горных выработок.

Список литературы • References

1. Максимов А.П. Горное давление и крепь выработок. М.: Изд. «Недра», 1973. 250 с.
2. Горная энциклопедия. www.mining-enc.ru.
3. Вылегжанин В.Н., Егоров П.В., Мурашев В.И. Структурные модели горного массива в механизме геомеханических процессов. Новосибирск: Наука, 1990. 295 с.
4. Судариков А.Е. Основы механики подземных сооружений: Учебное пособие. Караганда: КарГТУ, 2003. 74 с.
5. Черняк И.Л., Бурчаков Ю.И. Управление горным давлением в подготовительных выработках глубоких шахт. М.: Недра, 1984. 304 с.
6. Анкерная крепь. Справочник / А.П. Широков, В.А. Лидер, М.А. Дзауров и др. М.: Недра, 1990. 205 с.
7. Цай Б.Н. Термоактивационная природа прочности горных пород. Караганда: КарГТУ, 2007. 204 с.

8. Еременко В.А., Лушников В.Н., Сэнди М.П., Милкин Д.А., Мильшин Е.А. Выбор и обоснование технологии проведения и крепления горных выработок в неустойчивых породах на глубоких горизонтах Холбинского рудника // Горный журнал. 2013. № 7. С. 59-67.
 Eremenko V.A., Loushnikov V.N., Sandy M.P., Milkin D.A., Milshin E.A. Selection and basis of mine working driving and excavation support in unstable rocks at deep levels of Kholbinsky Mine. *Gornyi zhurnal*. 2013;(7):59-67. (In Russ.).
9. Nierobisz A. Development of roof bolting use in Polish coal mines. *Journal of Mining Science*. 2011;47(6): 751760.
10. Pivnyak G., Bondarenko V., Kovalevska I. Mining of Mineral Deposits. A Balkema Book. CRC Press is an imprint of the Taylor & Francis Group an informa business. London, 371 p.
11. Қамаров Р.Қ., Демин В.Ф. Технология возведения подготовительных выработок анкерной крепью в угольных шахтах. Монография на каз. яз. Караганда: Изд-во НАО «Карагандинского технического университета имени Абылкаса Сагинова», 2023. 262 с.

Authors Information

Kamarov R.K. – Academician NAGN, PhD (Engineering), Professor of the Department of Mining of Mineral Deposits, NPJSC «KarTU named after Abylkas Saginov», Karaganda, 100027, Kazakhstan, e-mail: kamarov_49@mail.ru

Mosin D.V. – Master's Student of the Department of Mining of Mineral Deposits, NPJSC «KarTU named after Abylkas Saginov», Karaganda, 100027, Kazakhstan

Информация о статье

Поступила в редакцию: 24.02.2025

Поступила после рецензирования: 17.06.2025

Принята к публикации: 27.06.2025

Paper info

Received February 24, 2025

Reviewed June 17, 2025

Accepted June 27, 2025