

УДК 622.831

ГЕОМЕХАНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ВСПУЧИВАНИЯ ПОРОД ПОЧВЫ В ВЫРАБОТКАХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ



А. В. СМИРНОВ,
советник генерального
директора
по стратегическим вопросам,
канд. полит. наук,
АО «Шахтоуправление
«Обуховская», Звереве, Россия



В. Н. ЗАХАРОВ,
директор,
чл.-корр. РАН



А. В. ХАРЧЕНКО,
старший научный
сотрудник,
канд. техн. наук,
av-kharchenko@yandex.ru

Институт проблем комплексного освоения недр
им. академика Н. В. Мельникова РАН,
Москва, Россия

Дано описание геомеханической модели процесса вспучивания пород почвы в капитальных горных выработках, разработанной на основе обширных натурных исследований, выполненных на шахтах ПАО «ДТЭК Павлоградуголь». Изучено влияние приближающегося забоя лавы на деформационные процессы в приконтурном массиве. Приведены результаты анализа изменения геомеханического состояния приконтурного массива в процессе перемещения забоя.

Ключевые слова: породы почвы, пучение, метаморфизм пород, геомеханическая модель, комбинированная крепь, приконтурный массив, деформационные процессы, забой.

DOI: 10.17580/gzh.2017.11.06

Введение

С увеличением глубины разработки месторождений полезных ископаемых повышаются затраты на их извлечение. При отработке угольных пластов в структуре затрат около 20 % приходится на так называемые эксплуатационные потери, связанные с обеспечением устойчивости капитальных и подготовительных выработок. При этом под термином «устойчивость» подразумевается их способность выполнять функциональное назначение.

Публичное акционерное общество «ДТЭК Павлоградуголь» имеет в своем составе пять шахтоуправлений, объединяющих 10 шахт с общей проектной мощностью 12,5 млн т угля в год. При анализе работы за последние 15 лет необходимо выделить послеприватизационный период (с 2004 по 2014 г.), когда основные технико-экономические показатели, включая добычу угля, существенно выросли и превысили проектные.

В условиях жесткой конкуренции на рынке энергетических углей в ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» вынуждены рассматривать дальнейшие пути снижения себестоимости добываемого угля. На период 2012–2025 гг. для повышения эффективности производства определены приоритетные направления:

- применение струговых установок в очистных забоях для повышения уровня добычи;
- совершенствование параметров технологии отработки угольных пластов;
- широкое использование анкерных, рамно-анкерных и комбинированных систем крепления для повышения устойчивости протяженных выработок в сложных горно-геологических условиях шахт Западного Донбасса.

Применительно к поставленным задачам было выполнено комплексное обследование протяженных выработок шахт данного

региона. Результаты обследования применительно к каждой шахте показали, что основной объем ремонтных работ связан с ликвидацией последствий пучения пород почвы (12,6 % общей длины выработок) и ремонтом металлических арок (5,8 %). Наибольшая доля ремонтных работ приходится на шахты «Западно-Донбасская» и им. Героев космоса.

Общие эксплуатационные затраты по шахтам ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» составляют от 360 до 1038 млн руб. в год, 77 % из них приходится на подрывку, 19 % – на рихтовку и 4 % – на перекрепление.

Оценка состояния протяженных выработок в условиях склонных к пучению пород почвы свидетельствует о том, что ликвидация последствий вспучивания неэффективна, более того, приводит к интенсификации этого процесса, а применение различных способов противодействия пучению пород будет иметь положительные результаты лишь в том случае, когда механизм их работы основан на физической модели пучения, адекватной реальным условиям эксплуатации выработки, и эти способы реализованы заблаговременно.

Во многих случаях повышение устойчивости выработок при пучащих породах можно обеспечить комплексным применением ряда мероприятий, снижающих воздействие очистных работ, располагая выработки в зонах разгрузки под или над выработанным пространством лав, используя охрану выработок бутовыми полосами и др.

В горно-геологических условиях шахт Западного Донбасса для обеспечения устойчивости протяженных выработок различного назначения используют в основном металлическую арочную крепь типа КШПУ и АП, объемы которых на разных шахтах колеблются от 52 до 96 %. В качестве прокатного профиля чаще все-

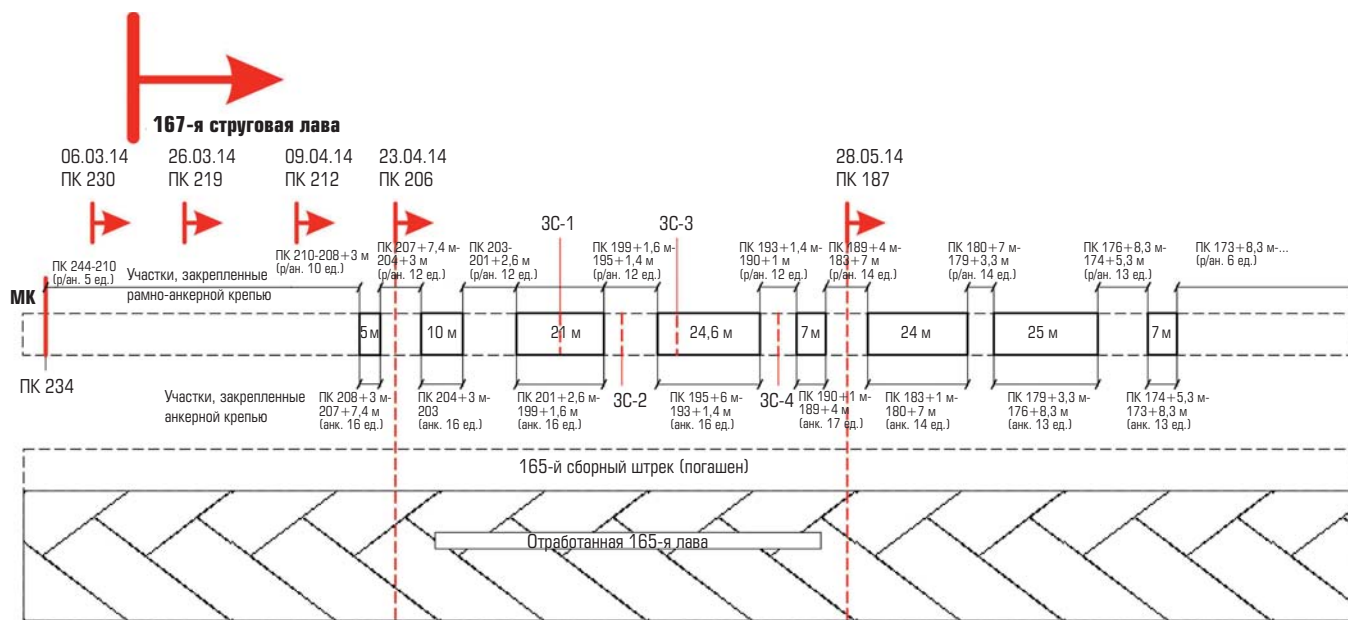


Рис. 1. Локализация участков, закрепленных анкерной крепью

го применяют дорогостоящие профили СВП-22 или СВП-27. На 1 м выработок расходуют до 1 т металла. При этом примерно 30 % общей протяженности выработок по разным причинам находится в неудовлетворительном состоянии.

Анализ применения различных видов крепи показал, что с увеличением глубины разработки преобладающим видом крепления станут комбинированные системы [1–3]. Они позволяют уменьшить деформации контура, что согласно исследованиям [4] приводит к повышению устойчивости выработок.

Результаты исследований

Одной из существенных проблем, влияющих на качество горных работ и себестоимость угля, является пучение пород почвы в протяженных выработках, ликвидация последствий которого чрезвычайно затратна. Несмотря на большое число исследований в этой области [5–8], с увеличением глубины разработки проблема пучения пород почвы в подземных выработках остается актуальной, особенно для слабометаморфизированных пород в окрестности выработок глубокого заложения на шахтах Западного Донбасса.

Исследуя механизм явления пучения пород почвы, опираясь на практику ведения горных работ в Верхней Силезии, Г. Шпакелер в своих работах [9, 10] отмечает, что, начиная с глубины 500 м, влияние давления сказывается глубоко в почве разрабатываемого пласта. Поднятие почвы имеет место как в очистных, так и в подготовительных выработках. Происходит оно не только во влажных, но и в абсолютно сухих породах.

В связи с этим на предприятиях ПАО «ДТЭК Павлоградуголь», прежде всего на шахтах им. Героев космоса и «Степная», были выполнены натурные исследования с целью уточнения деформационной модели протяженной выработки и формирования нагрузки на крепь, т. е. рассматривали модель пучения не отдель-

но для почвы, а как деформирование единой системы «выработка – крепь – породный массив».

На шахте «Степная» выполняли эксперимент по оценке устойчивости 167-го бортового штрека, пройденного вприсечку к 167-му сборному штреку с оставлением целика шириной 4 м. Проходку выработки осуществляли двумя встречными забоями с горизонтов 350 и 490 м. Выработка закреплена анкерной крепью. Замерные станции были расположены на пикетах ПК 174, 176, 183, 190, 195, 200, 204, 208. Изучали влияние приближающегося забоя лавы на деформационные процессы в приконтурном породном массиве выработки. Кроме того, на пикете ПК 60 была заложена измерительная станция, назначением которой было изучение закономерностей деформирования контура выработки, в частности пучения пород почвы, во времени.

Визуальные наблюдения вели по всей трассе выработки. Инструментальные наблюдения выполняли на пикетах, где установлены реперные станции. На рис. 1 они отмечены символами ЗС.

Измеряли вертикальную и горизонтальную конвергенции по мере приближения забоя струговой лавы. Было установлено, что доля пучения пород почвы в вертикальную конвергенцию составляет в среднем 70 %. Изменения величины и скорости смещений почвы представлены на рис. 2.

Анализ величины и скорости смещений пород почвы показал, что влияние забоя приближающейся лавы начинает существенно сказываться на расстоянии 60–70 м, когда величина вертикальной конвергенции составляет 0,4–0,5 м. Это соответствует примерно 50-м сут. При этом величина перемещений пород почвы подчиняется экспоненциальной зависимости следующего вида: $\Delta U = a / (1 + b e^{-ct})$, где ΔU – перемещение почвы; t – продолжительность наблюдений ($t = 60$ сут); a , b , c – коэффициенты, полученные в результате выполнения натурных исследований, при

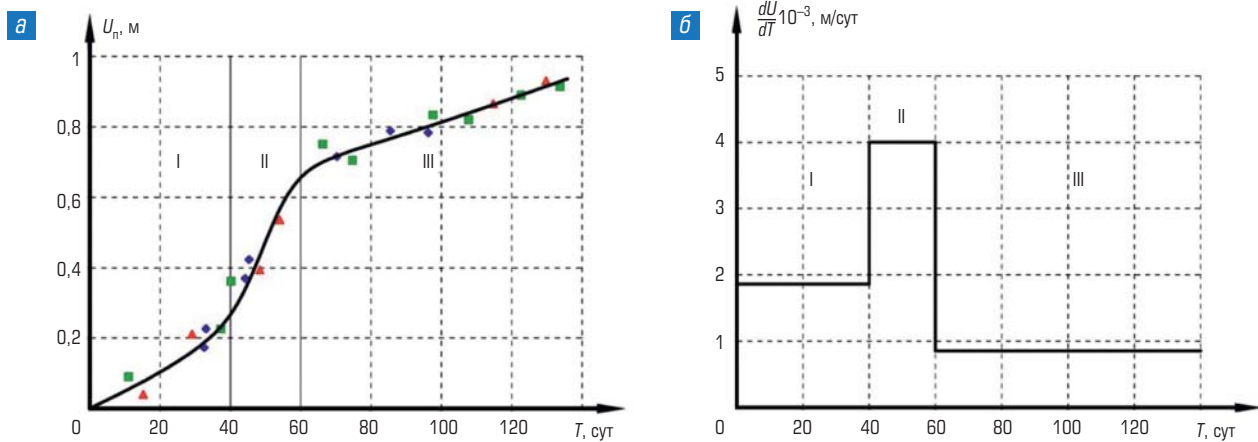


Рис. 2. Изменение величины (а) и скорости (б) смещений пород почвы во времени

этом $a = 0,9$; $b = 45$; $c = 0,2$. Ошибка аппроксимации составляет $R^2 = 0,95$.

Подобные измерения, выполненные А. Ю. Король [11] на шахте «Добропольская», также аппроксимируются вышеприведенной зависимостью.

Существенное поднятие пород почвы происходит уже на девятые сутки после перемещения забоя выработки от измерительного пункта. После этого в течение 40 сут пучение пород почвы достигает 0,5 м и более, а затем интенсивность процесса замедляется.

При анализе результатов обширных измерений, выполненных на шахтах Западного Донбасса [12–14], была предложена следующая модель деформирования приконтурного массива в окрестности протяженных выработок, расположенных вне зоны влияния очистных работ.

В процессе перемещения забоя проводимой выработки в ее приконтурном пространстве последовательно образуются три зоны разрушенных пород, разделенные зияющими трещинами (рис. 3). Толщина слоев, начиная от внешнего по отношению к контуру выработки, составляет в среднем 25, 50 и 75 см соответственно. При этом смещения первого слоя доходят до 0,5 м, второго – до 0,2 м, третьего – до 0,05 м. Ширина трещин между слоями соответственно равна 0,1; 0,05 и 0,01 м в кровле выработки и примерно вдвое меньше в почве.

Со стороны почвы развивается пучение пород. При этом активная зона имеет глубину около полупролета выработки. Бока выработки неравномерно смещаются внутрь, что особенно заметно у почвы. В кровле постепенно формируется зона разрушенных пород, создающих нагрузку на крепь. Весь этот процесс растянут во времени и пространстве. В условиях шахт Западного Донбасса он реализуется на расстоянии 30–50 м от забоя выработки. На рис. 4, а показана функция влияния забоя выработки $k(L)$, имеющая значения, изменяющиеся от некоторой минимальной величины непосредственно у плоскости забоя $k(L)_{\min} \approx 0,1–0,2$ до $k(L) = 1$ на расстоянии 30–50 м.

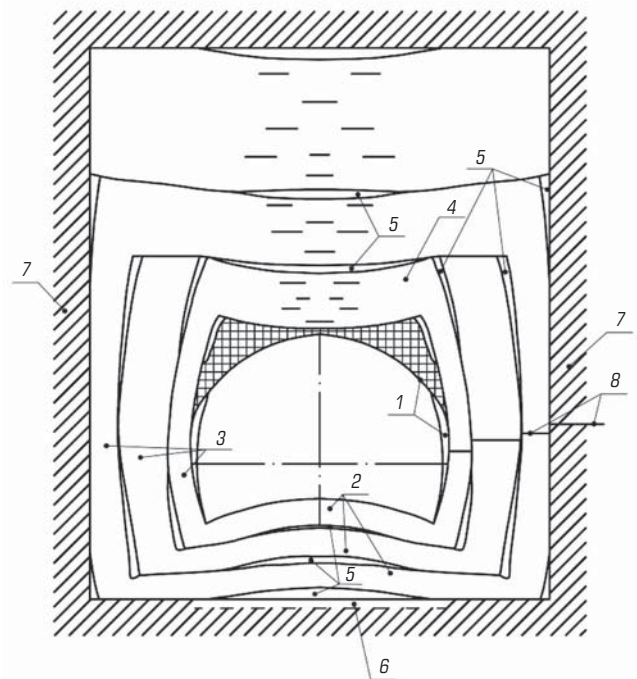


Рис. 3. Схема деформирования пород приконтурного слоя и образования зон разрушения:

1 – металлическая арочная податливая крепь; 2 – породы почвы; 3 – боковые породы; 4 – породы кровли; 5 – пустоты и трещины; 6 – вода; 7 – ненарушенный массив вмещающих пород; 8 – маркирующий пласт

Эта нелинейная функция снижает гравитационные силы γH в пределах влияния забоя. По мере уменьшения этого влияния происходит изменение геомеханического состояния приконтурного массива с образованием трех характерных зон, выделенных на рис. 4, б. В пределах зоны I образуется замкнутая область неупругих деформаций. В пределах зоны II реализуется вспучивание пород почвы. В пределах зоны III продолжается деструкция

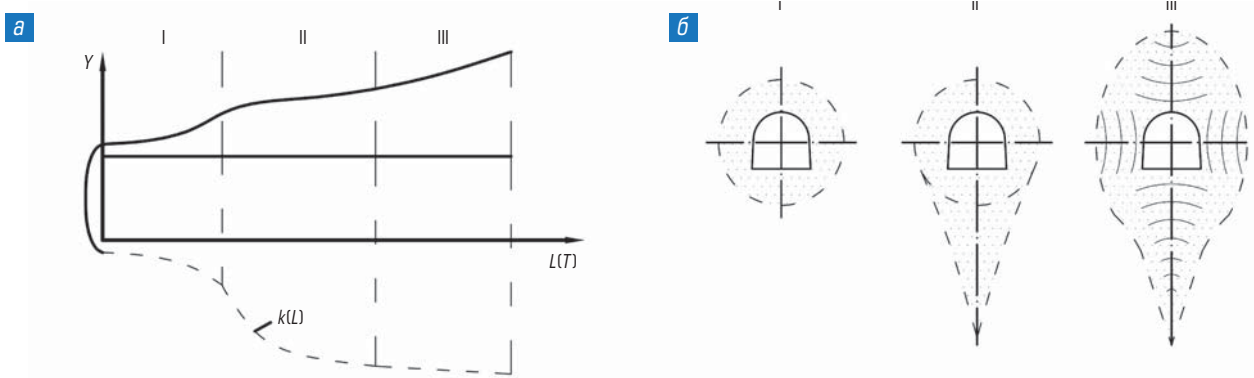


Рис. 4. Обобщенная деформационная модель выработки

вмещающих пород, сопровождающаяся развитием трещин в боках и кровле выработки, что приводит к образованию свода естественного равновесия, в пределах которого формируется нагрузка на крепь.

По мере удаления от забоя образование зон сопровождается неупругим расширением пород в приконтурной области.

Выводы

1. Рассмотрены особенности деформирования капитальных выработок по мере удаления забоя. Введено понятие функции влияния забоя.

2. Установлено, что по мере удаления забоя в выработке образуются три характерные зоны: упругая, пластичная и зона потери упругопластичной устойчивости.

3. Предложена геомеханическая модель процесса вспучивания пород почвы в капитальных выработках угольных шахт, позволяющая определить технологические параметры возведения комбинированной крепи со снижением объема капитальных и эксплуатационных затрат.

Библиографический список

См. англ. блок. [RU](#)

«GORNYI ZHURNAL», 2017, № 11, pp. 33–36
DOI: 10.17580/gzh.2017.11.06

Geomechanical model of floor swelling in coal mines

Information about authors

A. V. Smirnov¹, Strategic Adviser to the Chief Executive Officer, Candidate of Political Sciences

V. N. Zakharov², Director, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences

A. V. Kharchenko², Senior Researcher, Candidate of Engineering Sciences, av-kharchenko@yandex.ru

¹ Obukhovskaya Mine Management, Zverevo, Russia

² Institute of Integrated Mineral Development – IPKON, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract

The analysis and evaluation of method to increase mine stability in swelling rocks shows that each method has a certain field of rational use and the effectiveness of any method or action depends on how its mechanism corresponds to the real nature of the process. Based on the extensive field studies in the mines of DTEK Pavlogradgol company, a geomechanical model of floor heaving in permanent mine workings has been developed. This model enables design and installation of combined support at the reduced capital expenditure and maintenance costs. To this effect, the influence of the longwall face advance on deformation processes in the face-adjacent rock mass is analyzed. The article presents the analytical results on the change in geomechanical condition of adjacent rock mass under the longwall face advance. Three characteristic geomechanical zones are detected in the face-adjacent rock mass: elasticity, plasticity and elastoplastic instability.

Keywords: floor rocks, swelling, metamorphism, geomechanical model, combined support, adjacent rock mass, deformation processes, face.

References

1. Shashenko A. N., Solodyankin A. V., Smirnov A. V. Stability of underground excavations on the deep depths. *Gornyy zhurnal Kazakhstana*. 2014. No. 6. pp. 24–28.

- Hencher S. *Practical Rock Mechanics*. London : CRC Press, 2015. 356 p.
- Nurpeisova M. B., Iofis M. A., Miletenko I. V. *Geomechanics : tutorial*. Almaty : KazNTU, 2014. 275 p.
- Sdvizhkova E. A., Babets D. V., Smirnov A. V. Support loading of assembly chamber in terms of Western Donbas plough longwall. *Naukoviy visnik NGU*. 2014. No. 5. pp. 26–32.
- Perry K., Bradley J., Unrug K., Klimek M. Mitigation of floor heave in West Kentucky Coal Mine. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2016. Vol. 26, Iss. 3. pp. 521–525.
- Ying Xu, Jin Chen, Jianbiao Bai. Control of floor heaves with steel pile in gob-side entry retaining. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2016. Vol. 26, Iss. 3. pp. 527–534.
- Demin V. F., Yavorskiy V. V., Demina T. V., Steflyuk Yu. Yu. Developing effective ways of combating soil species in swelling capacity of preparatory excavations of coal mines. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2015. No. 12. pp. 95–99.
- Xiao F. K., Zhang C. J., Gao L. W., Yue Y. Y. Numerical Research on the Floor Heave Control of Deep Roadway in Coal Mining. *Advanced Materials Research*. 2012. Vol. 524-527. pp. 446-449.
- Spackeler G. Druckwirkungen im Liegenden. *Gluckauf*. 1930. No. 23. pp. 757–763.
- Spackeler G. Druckwirkungen im Liegenden. *Gluckauf*. 1930. No. 24. pp. 797–804.
- Korol A. Yu. Regular deformation of the rock massif around a single mine tunnel at its floor quelling. *Geotekhnichna mekhanika : Mizhvidomchiy zbirnik naukovikh prats*. 2014. No. 115. pp. 170–175.
- Aleksandrov A. N., Krylov I. V., Vygodin M. A. Experimental investigations of pressure manifestation in excavations during the refilling of area clamping with solidifying materials. *Improvement of underground mining technology : collection of scientific proceedings*. Moscow : IGD imeni A. A. Skochinskogo, 1985. Iss. 243. pp. 125–128.
- Götze W., Buschman N., Schröder D. Requirements to binding materials, used for rock reinforcement, protection and support of mine excavations. *Gluckauf*. 1979. No. 24. pp. 23–26.
- Vygodin M. A., Evtushenko V. V. Soil rock heaving at Western Donbass mines. *Ugol Ukrainy*. 1987. No. 7. pp. 12–13.