



**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ИЗМЕНЕНИЯ  
НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ  
УГЛЕПОРОДНЫХ МАССИВОВ В НАРУШЕННЫХ ЗОНАХ**

**В. Ф. Демин<sup>1</sup>, Н. А. Немова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Карагандинский государственный технический университет, E-mail: vladfdemin@mail.ru,  
Бульвар мира 56, г. Караганды 100027, Казахстан,*

<sup>2</sup>*Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, E-mail: nemova-nataly@mail.ru,  
Красный проспект 54, г. Новосибирск 630091, Россия*

Выявлены закономерности изменения напряженно-деформированного состояния угля породных массивов от основных горно-геологических и горно-технических факторов, с помощью которых можно в конкретных условиях для повышения устойчивости подготовительных горных выработок эксплуатации находить оптимальные параметры крепления. Исследована степень влияния горно-технических условий разработки на смещения в приконтурных породах при различных видах крепи в выемочных выработках.

*Бесцеликовая технология, геомеханические факторы, технологические факторы, условные зоны, неупругие деформации, газовое давление*

**STUDY OF REGULARITIES OF CHANGES  
IN STRESS-STRAIN STATE OF COAL ROCK MASS IN FRACTURED ZONES**

**V. F. Demin<sup>1</sup> and N. A. Nemova<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Karaganda State Technical University,  
E-mail: vladfdemin@mail.ru, Bulvar mira 56, Karaganda, 100027 Kazakhstan*

<sup>2</sup>*Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,  
E-mail: nemova-nataly@mail.ru, Krasny pr. 54, Novosibirsk 630091, Russia*

The regularities of changes in the stress-strain state of coal in rock mass depending on the main mining geological and engineering factors are identified. Using these factors, it is possible to find the optimal support parameters in specific conditions to increase the stability of preparatory mine workings. The degree of influence of mining and engineering conditions of exploitation on displacements in marginal rocks with various types of support in excavation workings is investigated.

*Pillarless technology, geomechanical factors, engineering factors, conventional zones, inelastic deformations, gas pressure*

Существующая тенденция применения бесцеликовой технологии отработки пластов требует поиска надежных средств защиты подготовительных выработок, в первую очередь прилегающих к очистному пространству. Проявления технологических факторов обуславливается глубиной разработки, направлением и скоростью подвигания подготовительных забоев, способами проведения и охраны, видами крепи и технологической схемой крепления.

Эффективность применения крепи в подготовительных выработках зависит от прочности вмещающих пород, размеров области опасных деформаций вокруг них, величины смещения пород кровли и боков за срок ее службы.

На процесс поддержания выработок оказывают воздействие геомеханические и технологические факторы, а также факторы промежуточного характера, возникающие в результате влияния горных работ на геомеханическое состояние массива пород. К геомеханическим можно от-

нести природные параметры массива: прочность, объемный вес, трещиноватость, глубину залегания, угол падения и др.; к технологическим — форму и сечение выработки, податливость и несущую способность крепи. В группе факторов промежуточного характера особое значение имеют опорное давление вокруг очистного забоя и искусственно вызванную при проведении выработок трещиноватость вмещающих пород и угольных пластов.

Для изучения особенностей напряженно-деформированного состояния массива пород вблизи горных выработок выполнено численное моделирование методом конечных элементов в программном комплексе ANSYS [1]. В качестве исходной для геомеханической модели принята типовая горная выработка прямоугольного сечения высотой 3.5 м и шириной 5.0 м, пройденная по угольному пласту на глубине 650 м. В непосредственной кровле залегают алевролиты мощностью 6 м и прочностью на одноосное сжатие 32 МПа, выше которых находятся песчаники мощностью 10 м с прочностью на одноосное сжатие 60 МПа. Почва пласта представлена аргиллитами мощностью 6.5 м с прочностью на одноосное сжатие 24 МПа. Ниже аргиллитов располагаются алевролиты мощностью 15 м.

Анализ картины распределения условных зон неупругих деформаций показал, что наибольшие деформации наблюдаются в почве выработки на глубине 4 м, в боках деформации распространяются вглубь массива на 2 м. В кровле разрушение происходит до слоя алевролитов, который почти не подвержен неупругим деформациям, только нижняя часть слоя мощностью около 0.3 м вовлечена в деформационные процессы. Для обеспечения устойчивости кровли выработки и ее безопасной эксплуатации в боках установлено по одному анкеру длиной 2.4 м.

Обычно негерметичные геологические нарушения заполняются метаном, при этом массив испытывает негидростатическое давление, а коэффициент бокового распора будет  $\lambda < 1$ . Приконтурный массив имеет неравномерную нагрузку, в результате которой возникают зоны, испытывающие сжимающие и растягивающие напряжения и приводящие к деформированию пород с появлением микро- и макротрещин.

Наличие газового давления в зонах геологических нарушений и отклонение линии действия главных напряжений от вертикали на  $5^\circ$  существенно влияет на развитие условных зон неупругих деформаций вблизи горных выработок при  $\lambda = 0.7$ . Картина распределения условных зон неупругих деформаций теряет свою симметричность, вытягиваясь по нормали к геологическому нарушению: в кровле на 6 м, в почве — на 7 м (рис. 1а) [2–8]. Дальнейшее увеличение угла наклона линии действия главных напряжений до  $45^\circ$  приводит к уменьшению зоны разрушенных пород (рис. 1б). При этом в кровле выработки условная зона неупругих деформаций распространяется до 5.3 м, в почве — до 7.1 м. Отмечается, что в левой части выработки она больше, чем в правой, на 0.5 м и составляет 4.2 м.

Из рис. 1 видно, что в зоне геологических нарушений при  $\lambda \neq 1$  деформации боков несимметричны, причем максимальные появляются с противоположной стороны от залегания нарушения. Наличие газового давления слабо влияет на характер распространения этой зоны вблизи горной выработки. Приближение к зоне геологического нарушения, свободной от газового давления при  $\lambda = 0.7$  показало, что условные зоны неупругих деформаций в боках выработки развиваются интенсивней, чем в кровле.

Как показали исследования, наличие газового давления в зоне геологического нарушения оказывает существенное воздействие на формирование условных зон неупругих деформаций вблизи горных выработок. Его присутствие при  $\lambda = 0.7$  и уменьшении расстояния между геологическим нарушением и исследуемой выработкой в значительной степени искажает картину распределения условных зон неупругих деформаций. Они становятся вытянутыми в вертикальном направлении. В кровле их размеры достигают 6 м, в почве — 7 м, в боках отмечается их незначительное уменьшение.

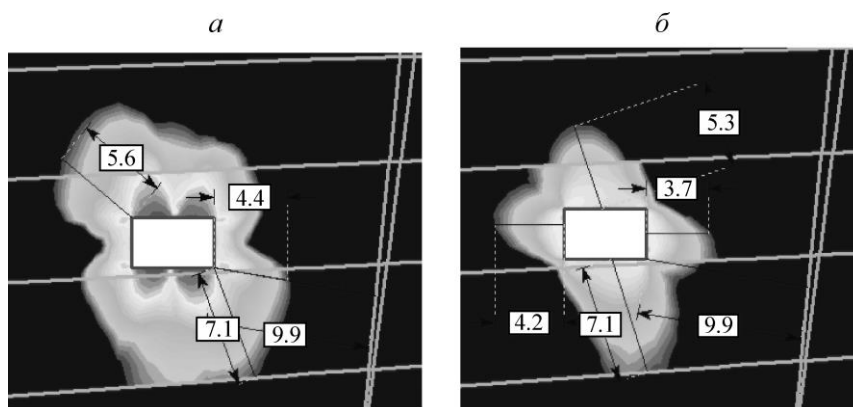


Рис. 1. Условная зона неупругих деформаций при  $\lambda = 0.7$  и угле наклона линии действия главных напряжений, град.: *а* — 5; *б* — 45

Результаты численного моделирования, выполненного для установления зависимости размера условной зоны неупругих деформаций  $h$  от глубины проведения работ  $H$ , которая изменялась от 300 до 1000 м показали, что она подчиняется логарифмическому закону [4] (рис. 2):

$$h = a \ln(H) - b,$$

где  $a, b$  — эмпирические коэффициенты, учитывающие прочность пород, размеры выработки и другие параметры, определяющие устойчивость выработки (для рассмотренного примера:  $a = 2.9$ ,  $b = 16.1$ ).

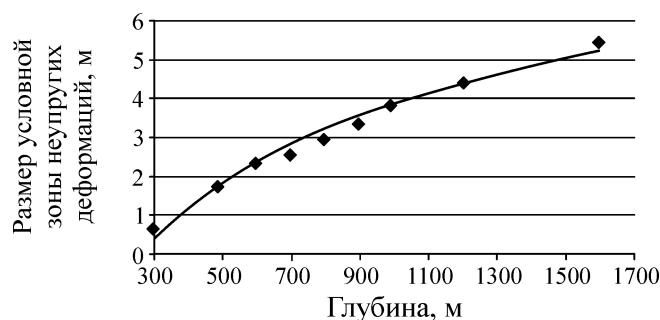


Рис. 2. Зависимость размера условной зоны неупругих деформаций от глубины ведения работ

На развитие условных зон неупругих деформаций вблизи выработок оказывает влияние прочность пород и степень их трещиноватости. Устойчивость массива вблизи выработки, пройденной по породам, зависит от размеров этих зон, прочности пород  $f$  и подчиняется экспоненциальному закону [9–10]:

$$h = ae^{bf}.$$

Расчеты показали, что изменение размера условной зоны неупругих деформаций от прочности пород с увеличением глубины ведения горных работ имеет нелинейный характер (рис. 3).

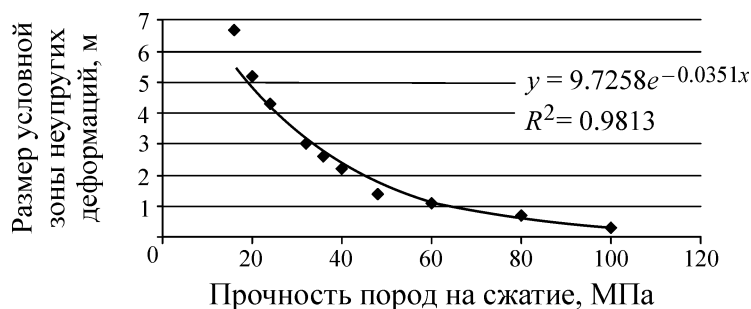


Рис. 3. Зависимость развития условных зон неупругих деформаций вглубь массива

## ВЫВОДЫ

Установлены закономерности изменения напряженно-деформированного состояния массивов горных пород (смещений, напряжений, зон трещинообразования) от основных горно-геологических и горно-технических факторов, которые позволяют при эксплуатации находить оптимальные параметры крепления подготовительных выработок. Это дает возможность разрабатывать новые и совершенствовать существующие технологии эффективного и безопасного крепления приконтурных пород.

Исследована степень влияния горно-технических условий разработки на смещения пород кровли при креплении выработок. Использование полученных зависимостей размера условных зон неупругих деформаций от глубины ведения горных работ помогает обнаружить области проявления повышенного горного давления в выработках, обусловленных деформациями массива горных пород.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. **Nurguzhin M. R., Katsaga T. Ya., and Danenova G. T.** Laboratory Workshop on Modeling Design Objects at the Macro and Micro Levels, Tutorial, Karaganda, KarGTU, 2000, pp. 69. (in Russian) [Нургужин М. Р., Кацага Т. Я., Даненова Г. Т. Лабораторный практикум по моделированию объектов проектирования на макро- и микроуровнях: учеб. пособие. — Караганда: КарГТУ, 2000. — 69 с.]
2. **Timoshenko S. P. and Goodier J.** Theory of elasticity, Moscow, Science, Main edition of the physical and mathematical literature, 1979, pp. 560. (in Russian) [Тимошенко С. П., Гудьер Дж. Теория упругости / пер. с англ. — М.: Наука, 1979. — 560 с.]
3. **Sinkevich N. I.** Patterns of changes in the parameters of stress-strain state of rocks in the zones of faults at different depths of development. Labor Safety in Industry, 2008, no. 11, pp. 39–41. [Синкевич Н. И. Закономерности изменения параметров напряженно-деформированного состояния пород в зонах разрывных нарушений при разной глубине разработки // Безопасность труда в промышленности. — 2008. — С. 39–41.]
4. **Demin V. F., Baimuldin M. K., and Baimuldin M. M.** Assessment of Stability of Contour on Mine Opening wirt a Booundary Integral Equation Method, Barcelona, Akademy of Science Engineering and Technology, Issue 74, 2013, pp. 717–720. [Демин В. Ф., Баймульдин М. К., Баймульдин М. М. Оценка устойчивости при вскрытии шахты методом граничного интегрального уравнения. — Барселона, Академия наук техники и технологии. — 2013. — Вып. 74, — С. 717–720.]
5. **Royter M., Krakh M., Kissling U., and Veksler Yu.** On the geomechanical state of the stope when mining coal seams at the Polysaevskaya mine in Kuzbass, Journal of Mining Science, 2017, no. 1, pp. 47–53. (in Russian) [Ройтер М., Крах М., Кисслинг У., Векслер Ю. О геомеханическом состоянии очистного забоя при отработке угольных пластов на шахте “Полысаевская” в Кузбассе / ФТПРПИ. — 2017. — № 1. — С. 47–53.]
6. **Prikhod'ko V. V. and Ulanova N. P.** Modeling of stress-strain state of fractured rock mass nearby of conjugated workings, Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 2018, no. 1, pp. 5–11.
7. **Demin V. F., Nemova N. A., Demina T. V., and Zeytinova Sh. B.** Control over geomechanical processes intended to improve a coal-and-rock massif stability, Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 2016, no. 2, pp. 5–10.
8. **Vereshchagin V. S.** To the assessment of the stability of the rock mass in the vicinity of an extensive mine work, fixed by anchors, Mining Information Analytical Bulletin, 2012, no. 10, pp. 352–354. (in Russian) [Верещагин В. С. К оценке устойчивости породного массива в окрестности протяженной горной выработки, закрепленной анкерами // ГИАБ. — 2012. — № 10. — С. 352–354.]
9. **Pham Van Thuong.** Studies determining the size of the zone of inelastic deformation around the mine workings, Mining Information Analytical Bulletin, 2012, no. 10, pp. 409–412. (in Russian) [Фам Ван Тхьонг. Исследования определения величины зоны неупругих деформаций вокруг горных выработок // ГИАБ. — 2012. — № 10. — С. 409–412.]
10. **Bulich Yu. Yu. and Golovko S. A.** Determination of the size of the zone of inelastic deformations near workings with the free destruction of rocks, Geotechnical Mechanics, 2005, no. 59, pp. 68–73. (in Russian) [Булич Ю. Ю., Головко С. А. Определение размеров зоны неупругих деформаций вблизи выработок при свободном разрушении пород // Геотехническая механика. — 2005. — № 59. — С. 68–73.]