



**ДИНАМИКА СМЕЩЕНИЙ КРОВЛИ ПЕРЕДОВОЙ ВЫРАБОТКИ ВЫЕМОЧНОГО
УЧАСТКА УГОЛЬНОГО ПЛАСТА ПРИ ПРИБЛИЖЕНИИ К НЕЙ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ**

С. В. Риб¹, В. М. Серяков², В. Н. Фрянов¹, Л. В. Полищук³

¹*Сибирский государственный индустриальный университет, E-mail: seregarib@yandex.ru,
ул. Кирова 42, г. Новокузнецк 654007, Россия*

²*Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, E-mail: vsere@misd.ru,
Красный проспект, 54, г. Новосибирск 630091, Россия*

³*ООО "Шахта "Юбилейная" АО "ТопПром", г. Новокузнецк 654007, Россия*

Предлагается комплексный подход к прогнозированию параметров геомеханических процессов в породном массиве при отработке угольных пластов сложного строения. Для приведения в соответствие расчетных и натурных данных смещений кровли подготовительных выработок модернизирована формула для определения расчетного сопротивления вмещающих пород. Показаны результаты натурных наблюдений по изменению величин смещений пород кровли на реперных станциях в передовой выработке шахты "Юбилейная" при приближении к ней очистного забоя. Представлены соотношения, позволяющие прогнозировать величины смещений кровли передовой выработки в зависимости от расстояния до забоя.

Угольная шахта, очистной забой, передовая выработка, смещения кровли, шахтный эксперимент

**DYNAMICS OF ROOF DISPLACEMENTS IN THE ADVANCED WORKING
APPROACHED BY LONGWALL FACE IN A COAL SEAM**

S. V. Rib¹, V. M. Seryakov², V. N. Fryanov¹, and L. V. Polishchuk³

¹*Siberian State Industrial University, E-mail: seregarib@yandex.ru,
ul. Kirova 42, Novokuznetsk 654007, Russia*

²*Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
E-mail: vsere@misd.ru, Krasny prospect 54, Novosibirsk 630091, Russia*

³*LLC Yubileynaya Mine of TopProm JSC, Novokuznetsk 654007, Russia*

A comprehensive approach to predicting the parameters of geomechanical processes in the rock mass during mining of coal seams of complex structure is proposed. In order to match the calculated and full-scale data of roof displacements of preparatory workings, the formula for determining the calculated resistance of host rocks has been upgraded. The results of field observations on changes in the values of roof rock displacements at benchmark stations in the advanced working of the Yubileynaya mine when the stoping face approaches it are presented. The relations which allow predicting the values of roof displacements of advanced workings depending on the distance to the face are presented.

Coal mine, stoping face, advanced working, roof displacements, mine experiment

Отработка на угольных шахтах пластов сложного строения в пределах протяженных выемочных участков сопровождается возникновением опасных ситуаций при переходе комплексномеханизированным очистным забоем (КМЗ) передовых выработок, дизъюнктивных геологических нарушений, зон пониженной прочности пород, повышенной трещиноватости и др. Известно, что структура, состав и прочностные свойства пород кровли характеризуются значительной изменчивостью в пределах различных частей шахтного поля. При изменении горно-геологических и горнотехнических условий в пределах выемочного участка в документацию по ведению

горных работ необходимо вносить соответствующие дополнения [1]. Различия в несущей способности слоистой неоднородной кровли по сравнению с однородной объясняются перераспределением напряжений в слоях [2].

Установлено, что слои угольного пласта по-разному испытывают влияние опорного давления. Нижняя пачка пласта чаще находится в более сжатом состоянии под влиянием опорного давления, поэтому коэффициент крепости угля в нижней пачке имеет большее значение, чем коэффициент крепости угля средней пачки [3]. Вследствие этого прогноз проявлений горного давления, выполненный согласно действующим нормативным документам, в ряде случаев значительно отличается от фактических проявлений на угольных шахтах Кузбасса. Причиной сложившейся ситуации является несовершенство методик прогноза состояния выработок и технических решений по их поддержанию.

Таким образом, представляется необходимым проведение исследований с целью совершенствования методических подходов к количественному прогнозированию геомеханических процессов для обеспечения устойчивости системы выработок в пределах протяженных выемочных участков. Для создания такой методики предлагается использовать комплексный подход, заключающийся в следующем [4]:

- 1) расчет параметров анкерной крепи подготовительных выработок протяженного выемочного участка по нормативным документам;
- 2) корректировка алгоритма расчета типовых смещений кровли подготовительных выработок;
- 3) физическое моделирование на эквивалентных материалах;
- 4) тестирование по результатам лабораторных экспериментов математической модели.
- 5) численное моделирование методом конечных элементов геомеханической ситуации в неоднородном массиве горных пород при переходе КМЗ передовой выработки с помощью комплекса программ CoalPillar [5, 6];
- 6) шахтные измерения смещений в подготовительных выработках для настройки входных параметров математической модели;
- 7) разработка по результатам моделирования оптимальных режимов управления горным давлением посредством варьирования скорости подвигания КМЗ, типов и конструкций крепи в передовой выработке, специальных мероприятий по предотвращению аварийных ситуаций.

В данной статье изложены результаты исследований по второму и шестому пунктам методики.

По результатам шахтных измерений смещений пород кровли в подготовительных выработках с помощью глубинных реперов на наблюдательных станциях [7, 8] установлено, что они отличаются на 30–40 % от смещений, вычисленных на стадии разработки проектной документации. Так как это явление носит массовый характер для шахт Кузбасса, то актуальна задача корректировки алгоритма расчета типовых смещений, предлагаемого ВНИМИ [9–11].

С этой целью проведен анализ формулы для определения расчетного сопротивления пород кровли при сжатии:

$$R_c = \frac{R_{c1}m_1 + R_{c2}m_{22} + \dots + R_{cn}m_n}{m_{11} + m_{22} + \dots + m_n} k_c k_{вл}, \quad (1)$$

где $R_{c1} \dots R_{cn}$ — сопротивление слоев пород кровли при сжатии, МПа; $m_1 \dots m_n$ — мощности слоев пород, залегающих в кровле, м; k_c — коэффициент, учитывающий нарушенность массива пород кровли поверхностями без сцепления, либо с малой связностью; $k_{вл}$ — коэффициент снижения расчетного сопротивления пород при сжатии за счет действия влаги.

Учитывая факт, что с увеличением расстояния от контура выработки до слоев кровли их влияние на смещения кровли постепенно затухает (это подтверждается результатами измерений глубинных реперов), предлагается ввести в формулу (1) вес отдельных породных слоев как отношение:

$$P_i = 1 / h_i, \quad (2)$$

где P_i — вес слоя; h_i — расстояние от контура выработки до середины слоя, м (рис. 1).

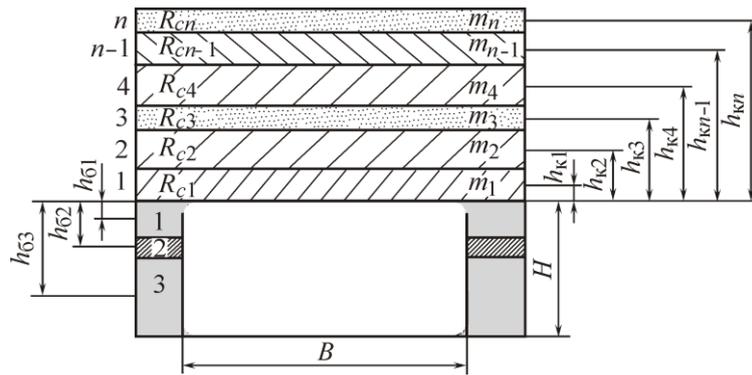


Рис. 1. Схема определения расстояния от контура выработки до середины i -го слоя h_i : 1, 2, 3, 4, $n-1$, n — номер слоя; n — количество слоев; $h_{k1} \dots h_{kn}$ — расстояние от контура выработки до середины слоя в кровле; h_{61}, h_{62}, h_{63} — расстояние от контура выработки до середины слоя в боках

С учетом (2) формула (1) примет вид

$$R_c = \frac{R_{c1}m_1P_1 + R_{c2}m_2P_2 + \dots + R_{cn}m_nP_n}{m_1P_1 + m_2P_2 + \dots + m_nP_n} k_c k_{вл} \quad (3)$$

Для оценки характера изменения R_c в породах кровли, почвы и пласте по формулам (1) и (3) проведен расчет для характерных условий шахт Кузбасса (таблица).

Расчет сопротивления пород кровли при сжатии R_c для горной выработки шириной 5 м, высотой 3 м

Пласт, мощность, м	Номер слоя от кровли выработки	Характеристики пород в слоях пород кровли выработки	Расчетное сопротивление пород R_c , МПа (кровля)		
			по формуле ВНИМИ	по формуле (3)	отношение, формулы (3) к ВНИМИ
Абрамовский, 2.2	1	$m_1=3.8, R_{c1}=50$	47.60	48.80	1.02
	2	$m_2=1.2, R_{c2}=40$			
3-3а, 5.6	1	$m_1=1.0, R_{c1}=20$	46.00	33.11	0.72
	2	$m_2=3.0, R_{c2}=50$			
	3	$m_3=1.0, R_{c3}=60$			
Е5, 3,2	1	$m_1=0.2, R_{c1}=30$	46.80	37.33	0.78
	2	$m_2=3.0, R_{c2}=40$			
	3	$m_3=1.8, R_{c3}=60$			
6, 1.1	1	$m_1=1.4, R_{c1}=30$	51.60	40.80	0.79
	2	$m_2=3.6, R_{c2}=60$			
15*, 1.6	1	$m_1=1.2, R_{c1}=60$	50.00	51.41	1.03
	2	$m_2=0.6, R_{c2}=10$			
	3	$m_3=0.2, R_{c3}=60$			
	4	$m_4=0.4, R_{c4}=10$			
	5	$m_5=2.6, R_{c5}=60$			
15*, 2.8	1	$m_1=1.2, R_{c1}=30$	52.4	40.67	0.78
	2	$m_2=2.0, R_{c2}=50$			
	3	$m_3=1.8, R_{c3}=70$			
15*, 2.8	1	$m_1=1.2, R_{c1}=30$	52.4	40.67	0.78
	2	$m_2=2.0, R_{c2}=50$			
	3	$m_3=1.8, R_{c3}=70$			

Примечание. * — для изменяющихся горно-геологических условий на различных участках шахтного поля (ш. “Юбилейная”)

Для шахтных измерений смещений в передовой выработке в качестве объекта исследований приняты горно-геологические условия залегания угольного пласта 15 шахты “Юбилейная” (Кузбасс), отработка которого (рис. 2а) осуществляется протяженными выемочными участками. Для обеспечения запасного выхода механизированного очистного комплекса предусматривается проведение в контуре выемочных столбов передовых выработок.

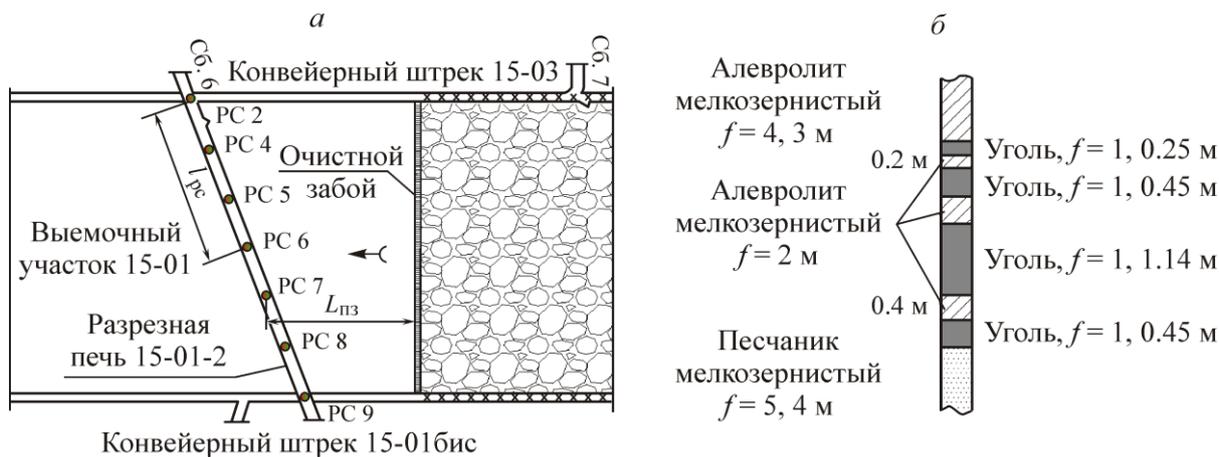


Рис. 2. Схема измерения смещения пород кровли на глубинных реперных станциях в разрезной печи 15-01-2 в период перехода очистным забоем (а) и структурная колонка пласта 15: $L_{пз}$ — расстояние от реперной станции в разрезной печи до приближающегося очистного забоя; l_{rc} — расстояние от конвейерного штрэка 15-03 до реперной станции в разрезной печи; РС 6 — номер реперной станции

Для изучения геомеханических процессов, протекающих в условиях отработки протяженного выемочного участка 15-01 были заложены наблюдательные реперные станции (РС 2, РС 4, РС 5, РС 6, РС 7, РС 8, РС 9) с проведением на них серий наблюдений. Измерения смещений пород кровли впереди очистного забоя проводились в передовой выработке (разрезной печи 15-01-2) на глубинных реперных станциях (рис. 2а) на расстояниях забоя до передовой выработки 10, 45–50 и 90–100 м. Выполнено более 150 замеров смещений. Построены зависимости величин смещения пород кровли от расстояния до очистного забоя (рис. 3). На основе полученных данных установлен экспоненциальный закон распределения смещений в зависимости от расстояния до приближающегося очистного забоя. С уменьшением этого расстояния смещения увеличиваются по экспоненциальной зависимости. Из рис. 3 видно, что максимальные смещения наблюдаются впереди лавы на расстоянии 10–15 м, на удалении 45–50 м смещения снижаются в 2–2.5 раза, на расстоянии 150–200 м они затухают. Представленные зависимости позволяют прогнозировать ожидаемые смещения пород кровли и рекомендуются при расчете параметров крепи усиления подготовительных выработок на протяженных выемочных участках.

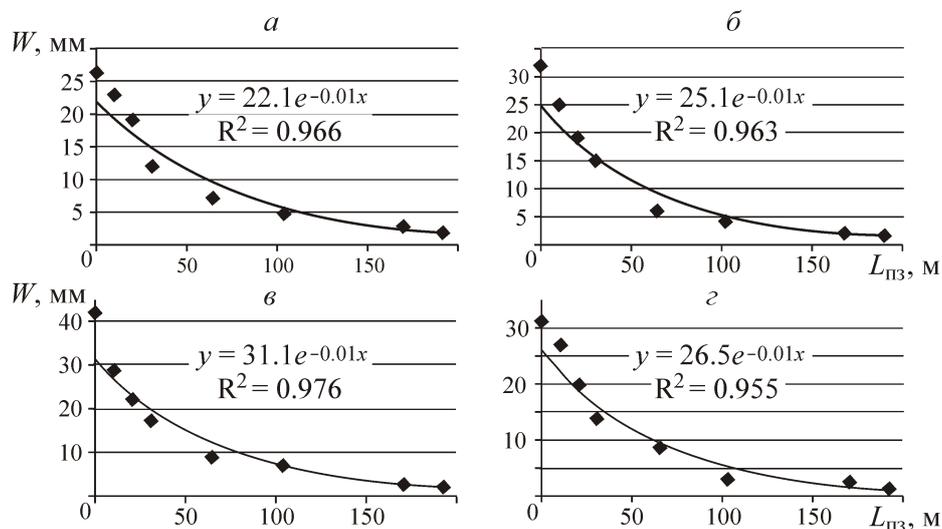


Рис. 3. Зависимости смещений W пород кровли передовой выработки от расстояния до приближающегося очистного забоя $L_{пз}$ для реперных станций: а — РС 4; б — РС 5; в — РС 6; г — РС 7

ВЫВОДЫ

Предложены соотношения для определения расчетного сопротивления пород кровли подготовительных выработок, пройденных в слоистом массиве. На основе анализа экспериментальных данных установлены зависимости изменения величин смещений кровли подготовительной выработки от расстояния до очистного забоя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- 1. Federal norms and rules in the field of industrial safety “Safety rules in coal mines”** (approved by order of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision of 19.11.13, no. 550. [**Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности “Правила безопасности в угольных шахтах”** (утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 19.11.13 г. № 550).]
- 2. Methodological guide for the selection of geomechanical parameters of the technology for the development of coal seams with short faces**, SPb, 2003, pp. 56. [**Методическое руководство по выбору геомеханических параметров технологии разработки угольных пластов короткими забоями.** — СПб., 2003. — 56 с.]
- 3. Haritonov I. L., Cherdantsev A. M., and Tatsienko V. P.** The study of geomechanical safety in a working face 50-03 during high-performance mining of seam 50 in the conditions of the D. Yalvskogo mine, Bulletin of the Kuzbass State Technical University, 2017, no. 6 (124), pp. 97–109. [**Харитонов И. Л., Черданцев А. М., Тащиенко В. П.** Исследования геомеханической безопасности в очистном забое 50-03 при высокопроизводительной отработке пласта 50 в условиях шахты им. В. Д. Ялевского // Вестник КузГТУ. — 2017. — № 6 (124). — С. 97–109.]
- 4. Seryakov V. M., Rib S. V., Basov V. V., and Fryanov V. N.** Geomechanical substantiation of technology parameters for coal mining in interaction zone of longwall face and gate roadway, Journal of Mining Science, 2017, vol. 54, no. 6, pp. 899–907. [**Серяков В. М., Риб С. В., Басов В. В., Фрянов В. Н.** Геомеханическое обоснование параметров технологии отработки угольных пластов в зоне взаимовлияния очистного пространства и передовой выработки // ФТПРПИ. — 2018. — № 6. — С. 21–30.]
- 5. Electronic resource** Registration Certificate, Program System for Geomechanical and Technological Targeting of Underground Mining and Heterogeneous Coal Mining with Testing Numerical Model According to Spot Monitoring, Rib S. V., Borzykh D. M., Fryanov V. N., Institute of Scientific and Pedagogical Information, Russian Academy of Education, 2014, no. 20629. [**Свидетельство о регистрации электронного ресурса. Комплекс программ для прогноза геомеханических и технологических параметров подземных горных выработок и неоднородных угольных целиков с тестированием численной модели по результатам точечного мониторинга / Риб С. В., Борзых Д. М., Фрянов В. Н.** — ИНИПИ РАО, 2014. — № 20629.]
- 6. Rib S. V.** Regularities of stress distribution in heterogeneous coal pillars, Non-traditional and intensive technologies for the development of mineral deposits: collection of scientific. articles, Novokuznetsk, 2008, pp. 148–153. [**Риб С. В.** Закономерности распределения напряжений в неоднородных угольных целиках // Нетрадиционные и интенсивные технологии разработки месторождений полезных ископаемых: сборник науч. статей. — Новокузнецк: 2008. — С. 148–153.]
- 7. Remezov A. V., Kharitonov V. G., and Mazikin, V. P.** Rock bolting and Its Advancement in Kuzbass Mines: Teaching Aid, Kemerov, Kuzbassvuzizdat, 2005, 471 pp. [**Ремезов А. В., Харитонов В. Г., Мазикин В. П.** Анкерное крепление на шахтах Кузбасса и дальнейшее его развитие: учеб. пособие. — Кемерово: Кузбассвузиздат, 2005. — 471 с.]

8. **Fryanov V. N., Manzhelevsky G. V., and Soldatenko A. V.** Investigation of the stress-strain state of coal pillars in the support pressure zone, Hydraulic Coal Mining Issues: Proceedings of VNIIGidrougol, 1972, issue 26, pp. 8–12. [**Фрянов В. Н. Манжелевский Г. В., Солдатенко А. В.** Исследование напряженно-деформированного состояния угольных столбов в зоне опорного давления // Вопросы гидравлической добычи угля: труды ВНИИГидроугля. — 1972. — Вып. 26. — С. 8–12.]
9. **Guidelines** for the rational location, protection and maintenance of mine workings in the mines of the USSR, Leningrad, 1986, 222 pp. [**Указания** по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на шахтах СССР. — Л., 1986. — 222 с.]
10. **Instructions** for the calculation and use of roof bolting in coal mines (approved by order of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision of December 17, 2013, no. 610, registered with the Ministry of Justice of the Russian Federation on February 19, 2014, no. 31354). [**Инструкция** по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах (утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 17.12.2013, № 610, зарегистрирована в Минюсте РФ 19.02.2014 г., № 31354).]
11. **Instructions** for the selection of frame flexible supports for mine workings, Leningrad, VNIMI, 1991, 125 pp. [**Инструкция** по выбору рамных податливых крепей горных выработок — Ленинград: ВНИМИ, 1991. — 125 с.]