

---

© Б.Ю. Зуев, А.А. Ромашкевич,  
Е.П. Ютяев, М.А. Логинов,  
2010

УДК 622.83.551.252

**Б.Ю. Зуев, А.А. Ромашкевич, Е.П. Ютяев,  
М.А. Логинов**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ РАБОТЫ ЦЕЛИКОВ И ПОДДЕРЖАНИЯ ВЫРАБОТОК ПРИ ПОДГОТОВКЕ ВЫЕМОЧНЫХ СТОЛБОВ СПАРЕННЫМИ ВЫРАБОТКАМИ**

*Представлены экспериментальные данные о деформировании массива горных пород при подготовке выемочных столбов спаренными выработками. Исследованы условия работы целиков. Данные получены на физических моделях из эквивалентных материалов при моделировании прохождения спаренных выработок и двух панелей в условиях повышенных горизонтальных напряжений.*

*Ключевые слова:* методы и средства физического моделирования, эквивалентные материалы, граничные условия, многоштревовая подготовка.

---

**В** последние годы участковая суточная нагрузка 10-15 тыс. т и более в развитых угледобывающих странах (США, ЮАР, Англия, Германия, Канада, Австралия) стала нормой. Обеспечение такой производительности – итог целого комплекса организационно-технических и технологических мероприятий, среди которых особого внимания заслуживают применения канатных анкерных крепей, поддержание и охрана выработок угольными целиками, оперативные методы прогноза и предотвращения опасных проявлений горного давления. Поэтому опыт комплексного решения этих проблем в развитых угледобывающих странах имеет важное прикладное значение. Изученные зарубежные публикации отражают условия, характерные для большинства угольных месторождений, в том числе, российских, на которых имеются проблемы по управлению геомеханическими процессами: наличие главных максимальных горизонталь-

ных напряжений, превышающих вертикальные, тектоническая нарушенность и зоны ослабления массива тектоническими трещинами, динамические формы проявлений горного давления – пучение и разломы почвы, горные удары и выбросы, разрушение угля в краевых частях целиков; глубина до 1 км и более, мощность пластов до 2 – 3 м, типы кровель – трудно обрушающиеся и слабые, склонные к пучению породы почв, системы разработки – длинные столбы с обрушением и камерно-столбовая, очистное оборудование – механизированные комплексы и короткозабойные комбайны, способы охраны выработок – угольные целики при многоштревовой подготовке выемочных участков [1, 2, 3].

Среди рассмотренных проблем одной из наиболее актуальных и сложных является применение многоштревовой подготовки выемочных участков, требующей системного подхода при максимально возможном

использовании отечественного и зарубежного научно-технического потенциала.

Для решения подобных задач предлагается использовать комплексный метод исследований на базе методов физического и компьютерного моделирования. Необходимость применения комплекса таких методов связана с нелинейными реакциями массива на техногенные воздействия, со сложными процессами, сопровождаемыми изменениями структурных и физико-механических параметров массива, разрывами его сплошности, при исследовании которых только одними математическими методами часто возникают непреодолимые препятствия.

Комплексный метод был применен при исследовании условий работы целиков при подготовке выемочных столбов двумя штреками в условиях шахт «СУЭК - Кузбасс» для разработки методов определения размеров оклонштрековых целиков, требующих для своего решения системного подхода, и дальнейшего применения данной схемы на практике.

Суть примененного комплексного метода исследования работы целиков при подготовке выемочных столбов двумя штреками на первом этапе состояла в определении граничных условий на контуре физических моделей методом компьютерного моделирования и дальнейшего исследования нелинейных процессов деформирования и разрушения целиков, а также почвы и крови методом экспериментального физического моделирования. Этот метод позволяет на уменьшенной модели провести качественные и количественные исследования интересующего нас процесса в натуре. По мере накопления данных о закономерностях процесса в дальнейшем могут быть составлены достаточ-

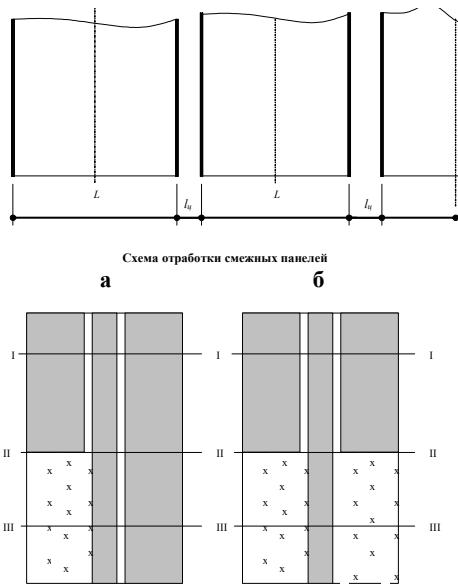
но обоснованные уравнения связей, которые в критериальной форме можно использовать для практических расчётов процесса в натуре, в том числе и с помощью метода компьютерного моделирования.

В условиях «СУЭК - Кузбасса» с высокими горизонтальными напряжениями, превышающими вертикальные, моделировались следующие основные этапы горных работ по подготовке выемочных столбов двумя выемочными штреками:

- поочередное прохождение двух горных выработок сечением 3x5 м;
- моделирование отработки первой панели путем изменения эпюор вертикальных и горизонтальных давлений  $\sigma_v$  и  $\sigma_r$  и при перемещении забоя по направлению к исследуемому сечению ленточного целика и при удалении от него в соответствии с данными компьютерного моделирования;
- моделирование отработки второй панели путем изменения эпюор вертикальных и горизонтальных давлений при перемещении забоя по направлению к исследуемому сечению ленточного целика и при удалении от него в соответствии с данными компьютерного моделирования с учетом изменения эпюор в ходе отработки первой панели.

Компьютерное моделирование выполнялось с помощью программы Plaxis V8. Компьютерная модель представляет собой прямоугольник шириной 800 м и глубиной 450 м. Пласт мощностью 3 м залегает на глубине 300 м по почве. В центре расположен целик шириной 15 м, оконтуренный выработками шириной 5 м. В модели предусмотрены граничные плоскости для получения эпюор нагрузок (рис. 1).

В процессе расчетов на граничных плоскостях определялись величины



**Рис. 1. Схема многоштрековой подготовки шахтных полей для компьютерных моделей**

нормальных контактных вертикальных и горизонтальных напряжений.

Схема реализации основных этапов физического моделирования производилась с помощью соответствующих технологических схем. На

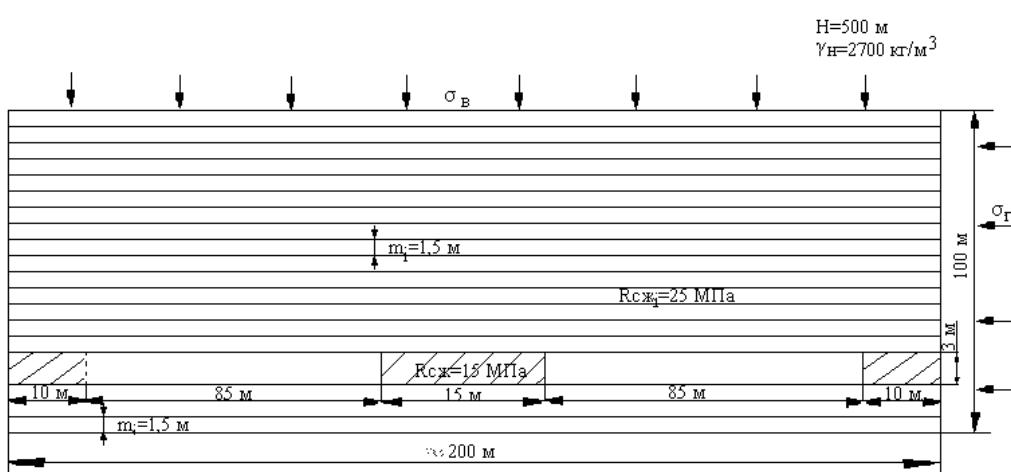
рис. 2 приведена одна из схем моделирования условий работы целика после полной отработки обеих панелей.

На модели из эквивалентных материалов воспроизводилась область горного массива 200x100 м с угольным пластом и вмещающими его горными породами. Ко всем типам ЭМ предъявлялся ряд общих требований, выполнение которых определяло выбор материала модели:

- обеспечение качественной аналогии в характере механического поведения породы и ЭМ;
- количественное подобие физико-механических параметров материалов натуры и модели, учитывающее масштаб моделирования;
- реализацию технологических и экономических факторов;
- обеспечение стабильности свойств ЭМ в процессе эксперимента и их воспроизводимости.

Подбор ЭМ с необходимыми прочностными и деформационными характеристиками производился на основе известных зависимостей [4]:

$$\sigma_{сж_M} = \alpha_l \cdot \alpha_y \cdot \sigma_{сж_H}; E_M = \alpha_l \cdot \alpha_y \cdot E_H,$$



**Рис. 2. Схема к физическому моделированию условий работы целика после полной отработки обеих панелей**

**Прочностные характеристики реальных и моделируемых горных пород**

№ п/п	Наименование	Среднее зна- чение коэф- фициента структурного ослабления	Прочность при сжатии с учетом коэффициента структурного ос- лабления, МПа	Средняя мощность пласта, м	Средняя прочность ЭМ, МПа
1	Угольный пласт	0,3	15	3	0,075
2	Породы кровли	0,4	25	2	0,125
3	Породы почвы	0,4	25	2	0,125

где  $\sigma_{\text{сж}_n}$  и  $\sigma_{\text{сж}_m}$  – прочности на одноосновное сжатие натуры и модели,  $E_n$  и  $E_m$  – модули деформаций натуры и модели;  $\alpha_l$  – линейный масштаб моделирования;  $\alpha_\gamma = \gamma_{\text{мод}}/\gamma_{\text{нат}}$  – масштаб удельных весов.

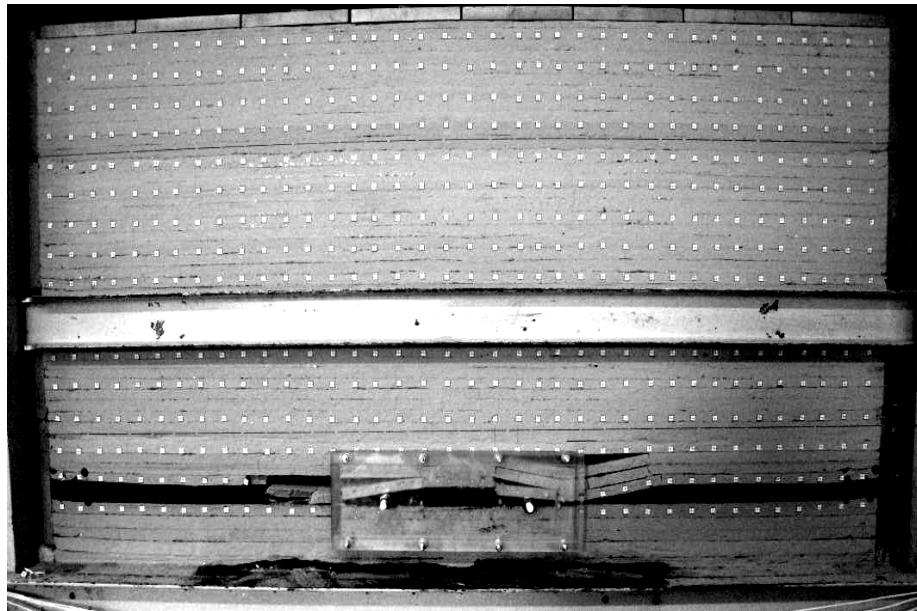
Учитывая размеры моделируемого участка (200 м) и размеры модели (2 м) был выбран масштаб моделирования  $\alpha_l = 1:100$ . Масштаб удельных весов определялся с учетом средних удельных весов ЭМ и моделируемых горных пород и составил  $\alpha_\gamma = 0,55$ .

Реальные прочностные характеристики с учетом результатов испытаний

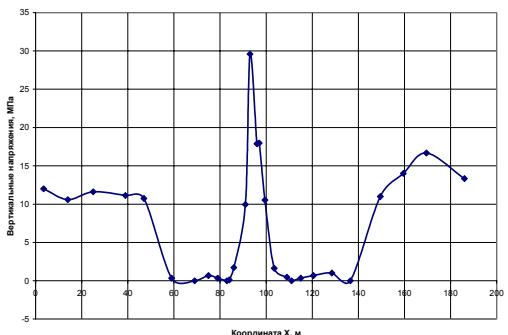
образцов угольного пласта и вмещающих пород и средних коэффициентов структурных ослаблений (для перехода от показателя прочности в образце к массиву) [4] приведены в таблице.

Горные породы моделировались с помощью ЭМ из песчано-эпоксиалифатических материалов, содержащих в качестве основного по массе компонента кварцевый песок, а в качестве связующего – эпоксидную смолу ДЭГ-1 в комплекте с отвердителем полиэтиленполиамином и активным модификатором – глицерином.

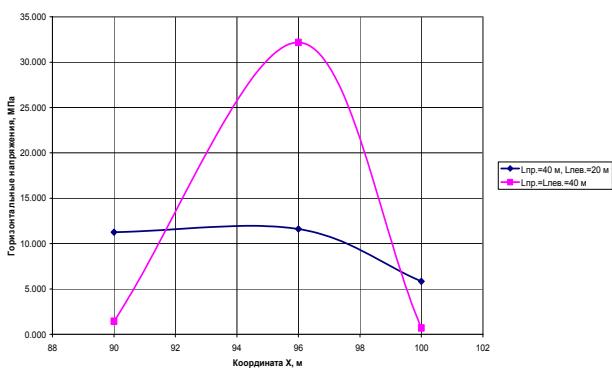
Формирование эпюор давлений на контуре модели производилось



**Рис. 3. Фото модели после отработки обеих панелей**



**Рис. 4. Изменение вертикальных напряжений после отработки двух панелей по 40 м**



**Рис. 5. Изменения горизонтальных напряжений в кровле целика после отработки правой и левой панелей**

с помощью системы автоматического управления (САУ), обеспечивающей совместно со специальным программным обеспечением формирование нагружающих усилий на каждый из дискретных силовых элементов, изменяющихся во времени в соответствии с предварительными данными, полученными в результате компьютерного моделирования и в соответствии с данными натурных наблюдений при многоштревовой подготовке.

При отработке модели фиксировались закономерности изменения напряжений в непосредственной почве и кровле ленточного целика, а также закономерности изменения

вертикальных и горизонтальных смещений и деформаций целика, его почвы и кровли. Кроме того с помощью цифровой камеры фиксировался характер развития трещин и разрушения целика.

Фото модели после отработки правой и левой панелей приведено на рис. 3, а результаты определения вертикальных и горизонтальных напряжений после отработки двух панелей на рис. 4 и 5.

В результате проведенных исследований было установлено, что при отработке панелей произошло резкое увеличение напряжений в почве под целиком и полное разрушению целика позади лавы. Но даже в разрушенном целике сохранились силы реакции раздробленного, сыпучего угля ( $c' \approx 0$ ,  $\rho' \geq 25 - 35^\circ$ ), приведшие к разрушению массива пород не только непосредственной,

но основной кровли на расстоянии от пласта, многократно превышающем его мощность. За счет остаточной несущей способности разрушенного целика и формирования опорного давления в зонах обрушения справа и слева от целика процесс развития сдвижения развивается во времени, а условия работы целика изменяются от режима заданных деформаций до режима заданных нагрузок. В этих условиях для управления состоянием массива может быть использован гомеханический мониторинг с обеспечением контроля сдвижения кровли и деформированием целика.

---

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Коршунов Г.И., Логинов А.К., Шик В.М.* Геомеханические принципы разработки нижних горизонтов Воркутского угольного месторождения. – СПб: Международная академия наук экологии безопасности человека и природы. 2006. 280 с.
2. *Коршунов Г. И., Логинов А.К., Шик В.М.* Многоштрековая подготовка угольных пластов. – СПб.: Наука, 2007-250 с.
3. *Hanna K., Haramy K. and D Conover* "Effect of high horizontal stress on coal mine entry intersection stability". U. S. Department of the Interior, Bureau of Mines, Denver Research Center, Denver, CO. 5<sup>th</sup> Conference in Ground Control in Mining. Morgantown, WV, June 11-13, 1986.
4. *Моделирование в геомеханике.* /Ф.П. Глущихин, Г.Н. Кузнецов, М.Ф. Шклярский и др. – М.: Недра, 1991. – 240 с. ISBN 5-247-01780-3. **ГИАБ**

### ***Коротко об авторах –***

*Зуев Б.Ю.* – кандидат технических наук, заведующий лабораторией моделирования, Санкт-Петербургский Государственный Горный Институт (ТУ), zuev\_bu @spmi.ru  
*Ютяев Е.П.* – технический директор, ОАО «СУЭК» - Кузбасс, Loginov AK@suek.ru  
*Логинов М.А.* – директор шахты им. Кирова, ОАО «СУЭК» - Кузбасс, Loginov AK@suek.ru  
*Ромашкевич А.А.* – аспирант, Санкт-Петербургский Государственный Горный Институт (ТУ), romashkevich ale@mail.ru

