

ОПЫТ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОТЯЖЕННЫХ ВЫРАБОТОК ПРОВОДИМЫХ ВСТРЕЧНЫМИ ЗАБОЯМИ В УСЛОВИЯХ ШАХТОУПРАВЛЕНИЯ «ПЕРШОТРАВЕНСКОЕ» ПАО «ДТЭК «ПАВЛОГРАДУГОЛЬ»

*А.В. Халимендик, Государственный ВУЗ «Национальный горный университет», Украина
Н.С. Еремин, В.В. Панченко, А.И. Прихорчук, ПАО «ДТЭК Павлоградуголь», Украина*

Приведены результаты исследований системы «выработка-массив» при встречном движении забоев лавы и подготовительной выработки в горно-геологических условиях Шахтоуправления «Першотравенское» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь».

Одним из направлений повышения общей эффективности угледобычи является сокращение сроков подготовки новых выемочных участков. Примером такого подхода могут служить горнодобывающие предприятия ПАО «ДТЭК «Павлоградуголь», в частности ШУ «Першотравенское», которое имеет положительный опыт проведения горных выработок встречными забоями, в том числе и навстречу движению лавы.

Так, например, для сокращения сроков подготовки нового фронта очистных работ специалистами объединения было принято решение о проведении 163-го бортового штрека с горизонта 300 м встречным забоем с одноименной выработкой, проводимой с горизонта 490 м. При этом 163-й бортовой штрек проводился вприсечку к 163-му сборному штреку выемочного участка 161-й лавы, навстречу движению линии очистного забоя.

Решение проблем, связанных с интенсивными проявлениями горного давления, в данном случае удалось достичь благодаря своевременному применению эффективных способов управления деформационными процессами в окружающем выработку породном массиве. Это, в свою очередь, потребовало разработки и обоснования соответствующих технологических решений и мероприятий на основе предварительного моделирования процессов, протекающих в окрестности взаимовлияющих выработок при постоянном геомониторинге целого комплекса выработок находящихся в зоне влияния очистных работ.

Для обеспечения достоверности прогнозной модели и достижения максимального соответствия реальным условиям решение аналитических задач по обоснованию оптимальных параметров крепления исследуемых выработок выполнялось в два этапа. На первом этапе была решена задача о напряженно-деформированном состоянии (НДС) трехмерной области массива, включающей существующую (163-й сборный штрек), вновь проводимую (163-й бортовой штрек) подготовительные выработки и забой лавы (рис. 1).

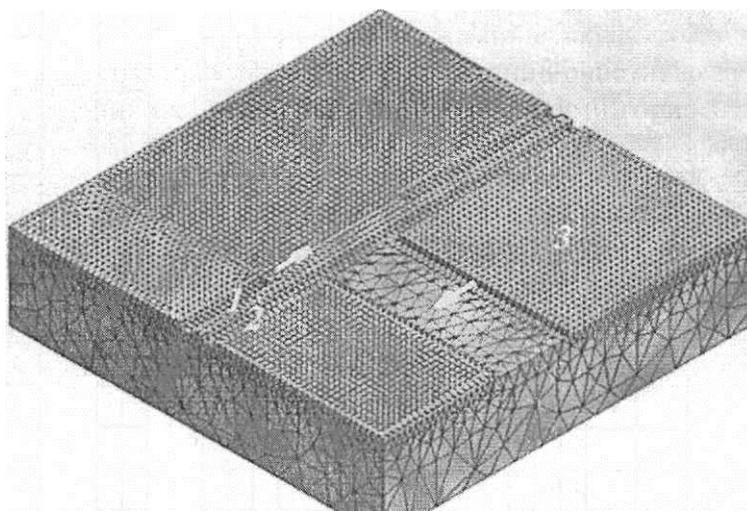


Рис. 1. Схема к решению трехмерной задачи о НДС при взаимном влиянии выработок: 1 – бортовой штрек; 2 – сборный штрек; 3 – лавы

В качестве основного показателя интенсивности горного давления впереди движущихся забоев лавы и штрека использовались вертикальные нормальные напряжения σ_y в сечении, параллельном оси подготовительной выработки.

Анализ вертикальных напряжений вблизи забоя проводимой выработки (табл. 1) показывает, что интенсивное приращение давления впереди движущегося штрека, обусловленное влиянием забоя лавы, в данных горно-геологических условиях начинается при сокращении расстояния L между ними до 30 м. Максимальный пик напряжений имеет место при совмещении плоскостей забоев, т.е. при ситуации, когда забой штрека находится в створе лавы, и достигает $2,8 \gamma H$.

Таблица 1

Изменение вертикальных напряжений впереди движущегося забоя штрека в зависимости от расстояния до забоя лавы

$L, м$	$\sigma_y / \gamma H$
5	2.80
10	2.30
20	2.00
30	1.64
40	1.59
50	1.55

Для определения нагрузки на крепь штрека и разработки мероприятий, направленных на повышение его устойчивости, детально исследовалось НДС в непосредственной окрестности 163-го бортового и сборного штреков. Для этого посредством метода конечных элементов с учетом коэффициентов концентрации напряжений, полученных из решения трехмерной задачи, моделировались различные сечения выработок, перпендикулярные оси штрека и находящиеся в условиях плоской деформации.

Снижение размерности задачи позволило выполнить ее решение в упруго-пластической постановке. Использовалась лицензионная программа "Phase-2", позволяющая моделировать поэтапное образование выработок в неупругой среде, учитывая на каждой последующей стадии в качестве начальных те деформации, которые реализованы на предыдущей стадии формирования НДС. Изначально моделировалась одиночная выработка (163-й сборный штрек). Затем с учетом сформировавшегося поля напряжений и реализовавшихся пластических деформаций путем изменения граничных условий имитировалось образование следующей выработки (163-го бортового штрека) с оставлением охранного целика шириной 3 метра (рис. 2). Таким образом, моделировалось проведение выработки в зоне разгрузки, что имеет место в реальной ситуации и обеспечивает более устойчивое состояние так называемой «присечной» выработки.

Физико-механические свойства вмещающих пород приведены в табл. 2.

Таблица 2

Физико-механические свойства вмещающих пород

Характеристика	Модуль Юнга, МПа	Коэффициент Пуассона	Прочность на сжатие, МПа	Объемный вес пород, кг/м
Уголь	11750	0.26	20	2500
Аргиллит	913	0.3	20	2500
Алеврит	1197	0.3	25	2500
Песчаник	14856	0.3	70	2500

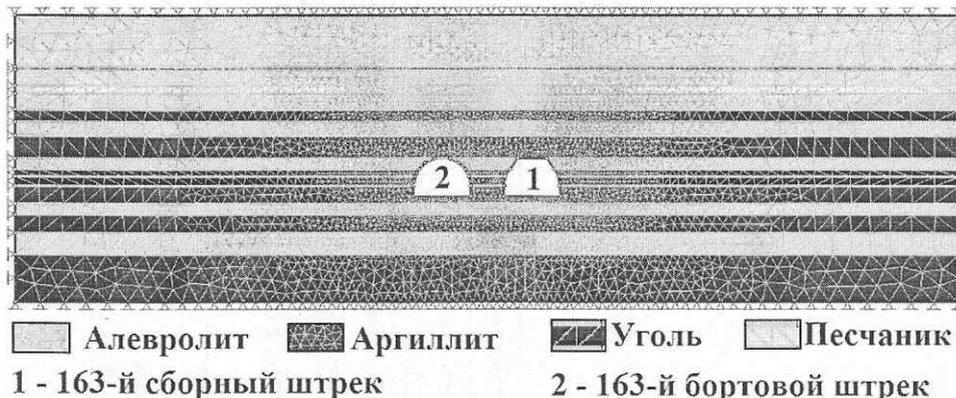


Рис. 2. Расчетная схема к решению плоской задачи о НДС при взаимном влиянии выработок в сечении перпендикулярном продольной оси штрека

Для определения зон неупругих деформаций использовался обобщенный критерий Хоека-Брауна [1], в соответствии с которым разрушение породы имеет место при выполнении условия:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + R_c \left(m_b \frac{\sigma_3}{R_c} + s \right)^a \quad (1)$$

где σ_1 и σ_3 – максимальное и минимальное главные напряжения, R_c – среднее значение предела прочности на одноосное сжатие породных образцов, m_b – константа Хоека-Брауна, учитывающая генезис и состояние (качество) породного массива, s и a – константы.

Константы выбирались из таблиц, приведенных в работе [2] на основе визуального обследования пород «*in situ*» и заключении об их качестве и степени нарушенности.

На рис. 3 показана область неупругих деформаций (разрушения) вокруг исследуемых выработок вне зоны влияния лавы, а также характер деформаций их контура.

На рис. 4 показано увеличение зоны разрушения при попадании забоев выработок в створ лавы вследствие повышения концентрации напряжений. При этом нагрузка на крепь присечной выработки (163-го бортового штрека), определяемая как вес пород в зоне разрушения непосредственно над штреком составила 89 т/м. В дальнейшем, при разработке паспорта проведения выработки, давление на крепь принималось с учетом коэффициента динамичности, равным 2,0, и составило 180 т/м.

На основе результатов моделирования были разработаны рекомендации по повышению устойчивости 163-го бортового штрека, которые представляли собой ряд мероприятий по усилению паспортных средств охраны в области повышенного горного давления.

В частности, за 50 м до места встречи линий забоев 161-й лавы и 163-го бортового штрека, забой бортового штрека был остановлен. На протяжении 200 м от сопряжения ВМКШ производилось усиление крепи 163-го бортового штрека путем установки деревянных стоек $\varnothing 22$ см с шагом $\varnothing 1,0$ м под верхняки арочной крепи КШПУ-15,0. На расстоянии 50 м от установленных деревянных стоек, поддержание штрека осуществлялось посредством монтажа двух центральных продольных металлических прогонов из СВП-22 под брус $\varnothing > 22$ см. Усиление крепи тупиковой части штрека производилось посредством установкой двух боковых продольных металлических прогонов из СВП-22, под которые с шагом 1,0 м устанавливались деревянные стойки $\varnothing > 22$ см. Только после установки поддерживающей крепи в 163-м бортовом штреке производилась дальнейшая выемка угля 161-й лавой.

С целью обеспечения текущего контроля состояния исследуемой выработки и проверки эффективности применяемых средств обеспечения устойчивости, помимо прочего, система геомониторинга включала комплекс визуальных и инструментальных наблюдений (рис. 5, 6), контроль суточного подвигания забоев, давления в гидростойках мехкрепи, замеры конвергенции и смещений глубинных реперов (рис. 7).

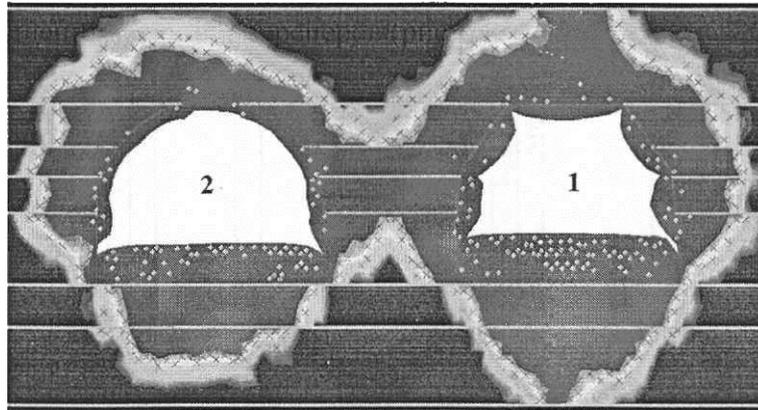


Рис. 3. Зоны разрушения и характер смещений контура выработок в отсутствие влияния лавы

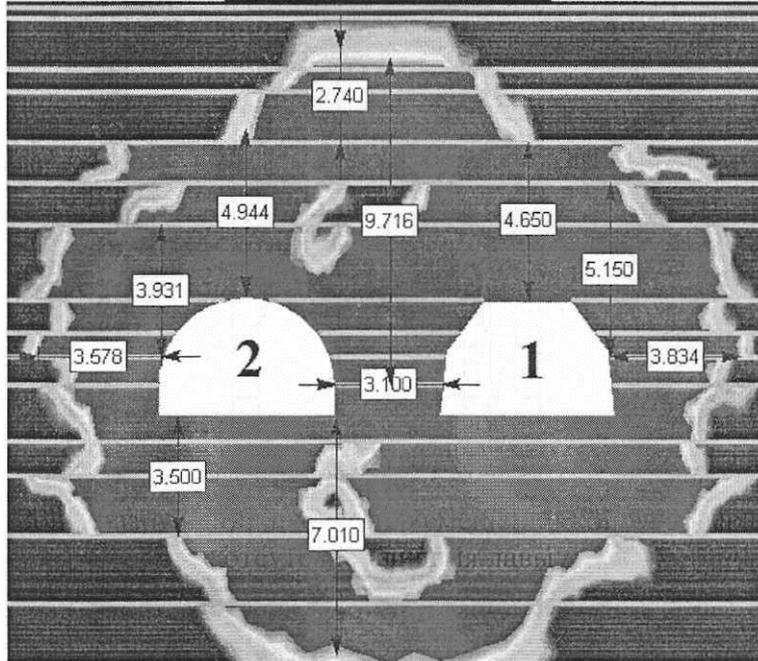


Рис. 4. Зоны разрушения при попадании забоя штрека в створ лавы с размерами для вычисления площадей характерных участков

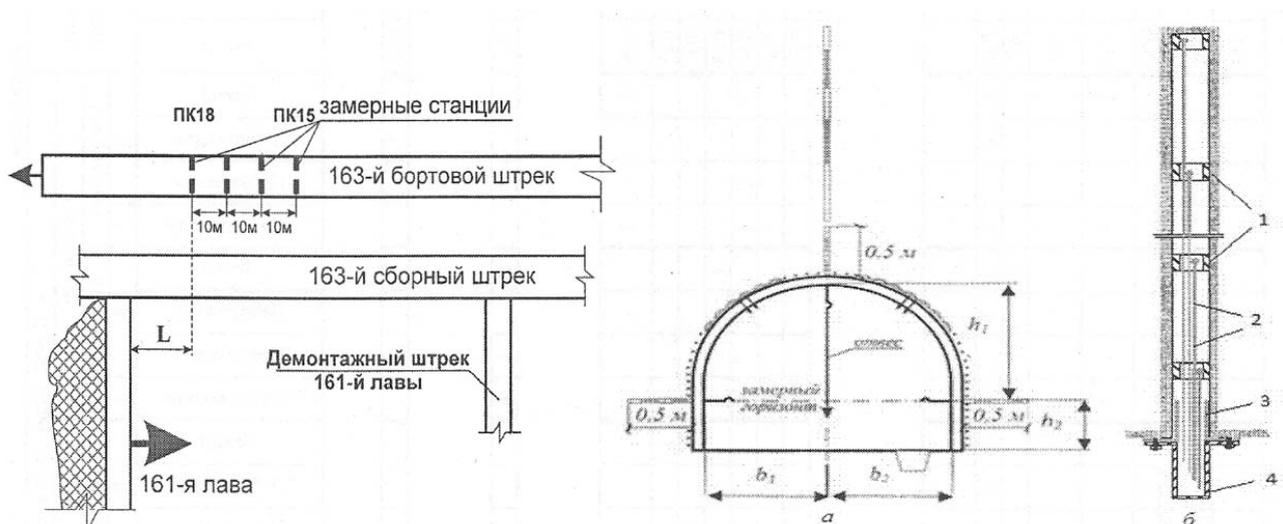


Рис. 5. Схема места расположения и устройства замерной станции, оборудованной контурными и глубинными реперами (а) и устройством скважины (б):
1 – репер; 2 – тяги реперов; 3 – обсадная труба; 4 – кондуктор

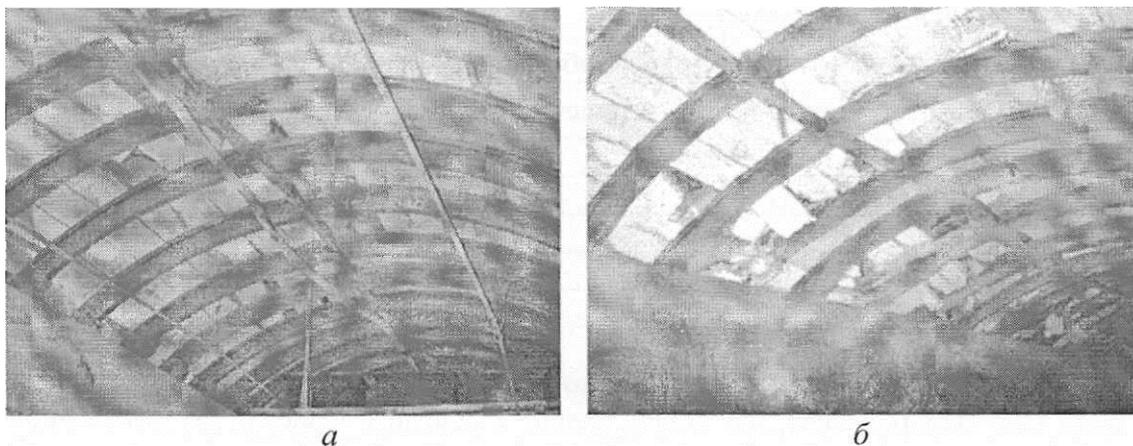


Рис. 6. Состояние участка выработки при различном положении линии забоя лавы:
а – до встречи с линией забоя лавы; *б* – после отхода лавы

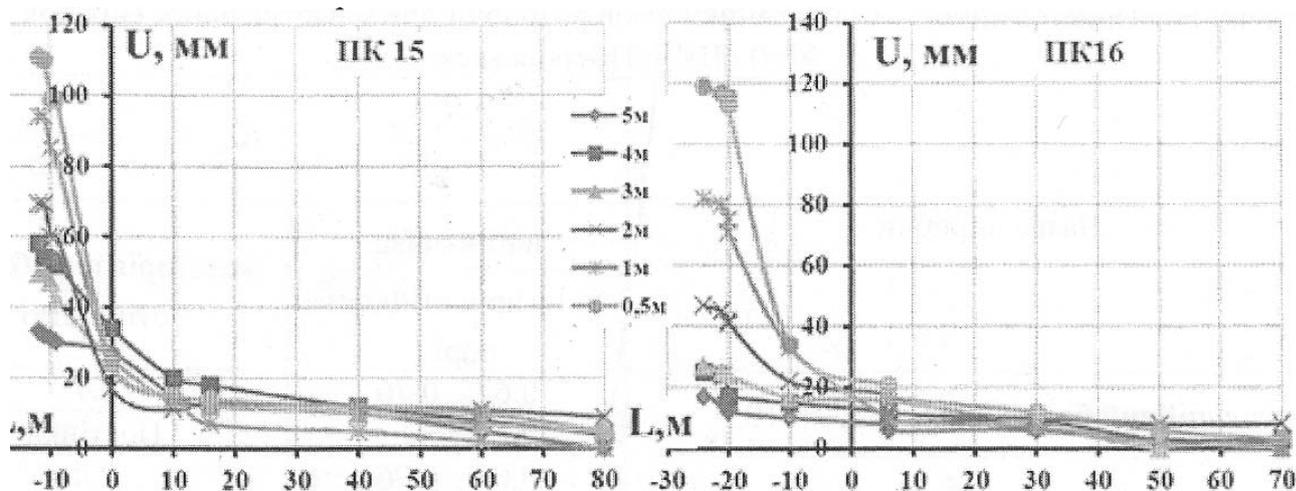


Рис. 7. Смещение глубинных реперов. Начало координат соответствует моменту, когда контрольное сечение находилось в створе лавы

Как видно из рис. 7 для данных горно-геологических условий, как и предполагалось, наиболее интенсивные смещения начались приблизительно за 25-30 м до подхода забоя лавы к контрольному сечению с последующим их затуханием при отдалении на 40 м. Это в полной мере подтвердило результаты предварительного моделирования взаимного влияния забоев и адекватность применяемого математического аппарата.

В целом, результаты мониторинга 163-го бортового штрека свидетельствуют о сохранении его устойчивости и соответствии всем технологическим показателям: зазорам, габаритам, пропускной способности по объему и скорости движения воздушной струи и т.д., что позволяет сделать вывод об эффективности разработанных охранных мероприятий.

Список литературы

1. Hoek E. Practical Rock Engineering, 2000 Edition (Электрон. Ресурс [http://www.rocscience.com/hoek/Practical Rock Engineering](http://www.rocscience.com/hoek/Practical%20Rock%20Engineering));
2. Cook H.G.W., Hoek E. Rock mechanics Applying to the Study of Rock bursts – J. of the South A.J. of Min. and Met.– 1966.– P. 435-528.