

The stochastic arrangement and the objective function are presented for optimization of dynamic task of co-operation of contiguous links of the combined transport in the quarry.

Originality. The criterion of minimization of losses depending on the law of distribution of arrival of transport vehicles at transfer points was developed.

Practical value. The stochastic arrangement of the losses minimization task caused by problems in

co-operation of transport streams in the transport system of the quarry allows optimizing of the work of contiguous transport links involved into mineral mass transportation process.

Keywords: *combined transport, transport expenses, minimization of losses, optimization*

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук В.І. Симоненком. Дата надходження рукопису 02.11.11.

УДК 622.281.74

А.В. Мартовицкий, канд. техн. наук

ПАО „ДТЭК Павлоградуголь“, г. Павлоград, Украина,
e-mail: info@dtek.com

ОБОСНОВАНИЕ КОМПЛЕКСА ЭФФЕКТИВНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ УСТОЙЧИВОСТИ ВЫРАБОТОК ШАХТ ПАО „ДТЭК ПАВЛОГРАДУГОЛЬ“

A.V. Martovitskiy, Cand. Sci. (Tech.)

Private Joint-Stock Company “DTEK Pavlogradugol”, Pavlograd, Ukraine, e-mail: info@dtek.com

SUBSTANTIATION OF AN EFFECTIVE SET OF MEASURES AIMING INCREASE OF MINE WORKINGS STABILITY IN MINES OWNED BY PRIVATE JOINT-STOCK COMPANY “DTEK PAVLOGRADUGOL”

Цель. Обоснование комплекса эффективных мероприятий по повышению устойчивости протяженных выработок шахт ПАО „ДТЭК Павлоградуголь“ на основе результатов комплексного анализа существующего их состояния, данных об объемах и видах ремонтных работ, оценки степени сложности условий разработки угольных пластов региона Западного Донбасса.

Методика. Методической основой выполненных комплексных исследований являются: анализ и обобщение литературных источников и положительного опыта поддержания выработок в сложных условиях эксплуатации, методы шахтных визуальных обследований, методы статистической, стоимостной, аналитической и экспертной оценки данных о состоянии протяженных выработок и степени сложности условий разработки, сопоставительный анализ полученных результатов.

Результаты. Результатами исследований являются: обобщенные показатели ремонтных работ по шахтам производственного объединения и отдельным группам выработок; расчетные значения затрат на сооружение и поддержание протяженных выработок. Выделена группа шахт, отнесенных к категории „больших“ глубин разработки. Разработана методика экспертной оценки состояния выработок шахт, определены зависимости протяженности выработок с неудовлетворительным состоянием от показателя условий разработки, полученные по результатам аналитических расчетов и экспертной оценки. Обоснованы направления повышения устойчивости протяженных выработок шахт ПАО „ДТЭК Павлоградуголь“.

Научная новизна. Впервые получены зависимости протяженности выработок с неудовлетворительным состоянием от показателя условий разработки для рассматриваемых сложных условий шахт Западного Донбасса; разработана новая методика оценки состояния выработок и условий разработки угольных пластов.

Практическая значимость. Полученные зависимости позволяют на стадии проектирования определять возможные затраты на ремонт и поддержание выработок в эксплуатационном состоянии. Обоснованы эффективные для рассматриваемых горно-геологических условий направления совершенствования крепей и способов повышения устойчивости протяженных выработок. Определены технические и организационные мероприятия для решения проблемы обеспечения длительной устойчивости комплекса протяженных выработок в сложных условиях шахт ПАО „ДТЭК Павлоградуголь“.

Ключевые слова: *протяженные выработки, устойчивость, глубокая шахта, затраты на поддержание, способы поддержания*

Введение. Принятый курс на интенсификацию горных работ на шахтах ПАО „ДТЭК Павлоградуголь“ требует реализации комплекса мероприятий,

обеспечивающих надежное и эффективное выполнение всех операций технологического цикла. К числу главных направлений повышения эффективности горных работ относятся обеспечение устойчивости протяженных выработок, оптимизация затрат на их

сооружение и поддержание, основанная на выборе систем крепления и охраны, отвечающих конкретным геомеханическим условиям шахт.

Другим важным аспектом данного направления деятельности объединения является повышение безопасности горных работ, которое предусматривает соответствие параметров выработок эксплуатационным функциям, обеспечение требуемых норм вентиляции, предотвращение тяжелых или аварийных ситуаций, которые приводят к нарушению ритмичности технологических процессов и огромным материальным затратам, связанным с ремонтом и поддержанием выработок.

Постановка проблемы и ее связь с практическими задачами. Увеличение глубины разработки, интенсификация горных работ, отработка запасов в сложных геомеханических условиях приводят к росту напряжений в окружающем выработку массиве, изменению физико-механических свойств горных пород и их поведения. Характерными проявлениями повышенного горного давления являются образование значительных зон разрушенных пород вокруг выработки, пучение пород почвы, вывалы пород кровли и др.

С ростом глубины работ и возрастанием нагрузок на лаву повышается газоносность угольных пластов. Это требует увеличения поперечного сечения выработок для разбавления метана до норм, предусмотренных „Правилами безопасности“. На основании результатов многолетнего опыта эксплуатации выемочных штреков при отработке тонких пологих пластов сделан вывод о необходимости восходящего (прямоточного) проветривания на шахтах с высокой газообильностью. Для обеспечения этого условия один из выемочных штреков необходимо поддерживать вслед за проходом лавы. Увеличение длины выемочного столба, при столбовой системе разработки, также требует поддержания штрека за лавой в качестве запасного выхода.

При переходе на большие глубины существенно возросла нагрузка на крепь, смещения контуров выработок увеличились, примерно, в 3 раза. В итоге, состояние выработок остается неудовлетворительным. Более 40 % их ремонтируются до сдачи в эксплуатацию, 52% действующих выработок деформированы. При поддержании протяженных выработок в основном (92...98%) применяется арочная податливая крепь из спецпрофилей СВП-27 и СВП-33 с различным сечением и плотностью установки, масса которой на одном метре выработки достигает 600–1000 кг (1–2 рамы на погонный метр), а средний показатель по Донбассу составляет 650 кг стального профиля.

Таким образом, проблема поддержания протяженных выработок в условиях больших глубин разработки, как в зоне влияния очистных работ, так и магистральных, чрезвычайно актуальна, связана с повышением безопасности горных работ, уровня добычи, снижением себестоимости угольной продукции и увеличением технико-экономических показателей шахт.

Анализ результатов исследований и публикаций, посвященных тематике работы. Угледобы-

вающий регион Западного Донбасса характеризуется очень сложными горно-геологическими условиями отработки пластов. Это обусловлено наличием слабых вмещающих глинистых и песчано-глинистых пород с низкой степенью метаморфизма, резкой потерей прочности этих пород при наличии влаги, интенсивным пучением пород почвы, расслоением и обрушением пород кровли, наличием геологических нарушений. Именно поэтому уже на глубине разработки 150...300 метров имеют место тяжелые формы проявлений горного давления, интенсивные смещения контура выработки, значительные деформации и разрушения постоянных крепей, вывалы пород и т.п., что является основными причинами неудовлетворительного состояния выработок.

Изучению особенностей проявления горного давления в условиях шахт Западного Донбасса посвящены работы Б.М. Усаченко, С.Н. Ревы, В.И. Стыцина, В.В. Евтушенко, А.В. Шмиголя, В.Я. Кириченко и др. В этих работах развиты основные представления о геомеханических процессах, протекающих в сложных горно-геологических условиях шахт Западного Донбасса. Установлены основные факторы, влияющие на формирование напряженно-деформированного состояния (НДС) массива вблизи протяженных выработок, предложены основные направления повышения их устойчивости. Однако, многообразие форм проявлений горного давления, необходимость отработки запасов на большей глубине, принятый курс на повторное использование выработок указывает на необходимость проведения дальнейших исследований геомеханических процессов в каждой конкретной горно-геологической ситуации с учетом структуры, прочности и состояния вмещающих пород. В первую очередь, эти исследования должны быть направлены на разработку методики и критериев оценки геомеханических условий разработки и состояния протяженных горных выработок с целью определения наиболее эффективных мероприятий по обеспечению их длительной устойчивости.

Таким образом, **целью настоящей статьи** является обоснование комплекса эффективных мероприятий по повышению устойчивости протяженных выработок шахт ПАО „ДТЭК Павлоградуголь“ на основе результатов комплексного анализа существующего их состояния, данных об объемах и видах ремонтных работ, оценки степени сложности условий разработки угольных пластов региона Западного Донбасса.

Обследование протяженных горных выработок шахт ПАО „ДТЭК Павлоградуголь“. Первый этап намеченных комплексных исследований заключался в проведении визуального обследования выработок, характерных для каждой отдельной шахты объединения.

Как показало обследование, выработки удается поддерживать в удовлетворительном состоянии благодаря регулярному проведению ремонтных работ. Влияние горного давления в достаточной, но не в полной мере, компенсируется крепью. Повышенным горным давлением обусловлена различная степень деформаций пород и крепи выработок. В течение времени эксплуата-

ции многие из обследованных магистральных выработок были перекреплены из-за потери сечения и неудовлетворительного состояния крепи.

Преобладающими видами деформации пород в магистральных выработках практически всех шахт являются: вертикальная и горизонтальная конвергенция; потеря симметрии рамной крепи; деформирование стоек крепи; деформации и разрушение затяжки; пучение пород почвы различной интенсивности, что является причиной уменьшения сечения выработки до неудовлетворительного состояния, нарушения рельсового пути. На шахтах „Степная“, „Им. Героев космоса“, „Западно-Донбасская“ на значительных участках выработок неоднократно выполняется подрывка почвы комбайном.

Наибольшая степень деформаций крепи имеет место в зонах влияния смежных протяженных или очистных выработок. Отмечены деформации верхняков крепи, прогиб ножек, разрушение затяжки и т.д. Часто прослеживается погружение ножек стоек крепи в почву (эффект „гармошки“ затяжки).

Величина вертикальной конвергенции в выработках шахт „Степная“, „Им. Героев космоса“, „Западно-Донбасская“ достигает 1–1,5 метра. Имеют место прогибы пород в выработку со смятием и надвигом слоев, а также вывалы пород кровли высотой до 1 м. Характерным является „выполаживание“ верхняка, вследствие чего проявляются порывы нижних замковых соединений, образование характерных „ртвов“ без заметного проскальзывания элементов крепи.

Обследование подготовительных (лавных) выработок показало, что их поддержание связано с еще большими трудностями вследствие влияния очистных работ. За время эксплуатации участки подготовительных выработок неоднократно перекрепляются. Подрывка пород почвы является основным видом ремонтных работ в выработках шахт „Самарская“, „Западно-Донбасская“, „Им. Сташкова“. На шахте „Им. Героев космоса“ подрывка почвы в штреках осуществляется дважды: непосредственно после проходки и при выполнении работ по отработке лавы.

Снижение устойчивости подготовительных выработок часто связано с повышенными водопритоками. Вывалы в кровле приурочены к контакту обводненного пласта с боковыми породами.

В местах установки анкеров породы деформированы волнообразно („обыгрывание“ анкеров). При несоблюдении технологии крепления, а также вследствие повышенного горного давления наблюдается провисание анкеров вместе с отслоившимися породами кровли.

Следует отметить, что деформации крепи в ряде случаев обусловлены несоблюдением технологии проведения и крепления выработок. В первую очередь это относится к качеству установки анкеров. При установке рам крепи факторами, снижающими работоспособность крепи в условиях повышенного горного давления, являются: отсутствие забутовки и расклинки рам крепи; отсутствие подпятников, межрамных стяжек, нарушение комплектности замковых соединений.

Фактические объемы ремонтных работ в магистральных и участковых выработках шахт ПАО „ДТЭК Павлоградуголь“ по видам работ приведены на рис. 1.

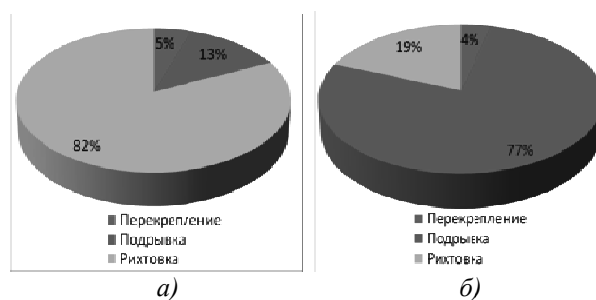


Рис. 1. Фактические объемы ремонтных работ в выработках шахт ПАО „ДТЭК Павлоградуголь“ по видам работ: а – магистральные; б – участковые

Анализ представленных диаграмм показывает следующее. Основные виды ремонтных работ в протяженных выработках большинства шахт связаны с рихтовкой пути и подрывкой пород почвы. В целом по ПАО на долю работ по рихтовке приходится 66% от всего объема ремонтов, на подрывку – 30%. Большая часть работ по рихтовке приходится на магистральные выработки (82% от всех ремонтов), тогда как в участковых 77% от всех ремонтов приходится на работы по подрывке. Работы по перекреплению в общем объеме ремонтов в целом по ПАО не превышают 4%.

Оценка затрат на выполнение ремонтов в выработках шахт ПАО „ДТЭК Павлоградуголь“. Определение фактических затрат на выполнение ремонтных работ для поддержания протяженных горных выработок представляет довольно сложную задачу, поскольку они заложены в различные статьи расходов. Поэтому для оценки величины затрат на выполнение ремонтных работ был выполнен расчет их усредненной сметной стоимости для рассматриваемых условий шахт ПАО „ДТЭК Павлоградуголь“.

Расчет сметной стоимости работ по подрывке и перекреплению выработок выполнялся с применением пакета программ „Строительные Технологии – СМЕТА“ © „Computer Logic Group“.

Оценка проводилась для конвейерных (площадь сечения выработки в проходке $S = 16,5 \text{ м}^2$, крепь КШПУ-М-14,4) и вентиляционных (площадь сечения выработки в проходке $S = 13,5 \text{ м}^2$, крепь КШПУ-М-11,7) штреков.

Для работ по перекреплению учитывалось повторное использование рам арочной трехзвенной податливой крепи, а также 70 % затяжки. Объемы работ по расширению выработки приняты равными 20 % от площади ее сечения в проходке. Для учета дополнительных работ по снятию-установке кабелей и трубопроводов, трудоемкость работ по снятию крепей увеличена на 25 %.

Расчет проводился для металлических крепей, изготовленных из профиля СВП-22 и СВП-27 с шагом установки 0,5; 0,7; 0,8 и 1,0 м.

Для работ по подрывке учтено повторное использование рельсовых путей, шпал и крепежных материалов. При расчете рассмотрены различные объемы работ при возможной величине подрывки в диапазоне 0,3...1,0 м.

Для работ по рихтовке учтено повторное использование рельс, шпал и крепежных материалов при деревянных шпалах, и повторное использование рельс и крепежей с новыми железобетонными шпалами.

Общая сумма ориентировочных затрат на выполнение ремонтных работ в протяженных выработках на шахтах ПАО „ДТЭК Павлоградуголь“, согласно произведенным выше оценкам, составит:

минимальная – $(22\,176,6 + 27\,532,6 + 752,7) = 50\,461,9$ тыс. грн;

максимальная – $(26\,294,4 + 81\,336,6 + 10\,097,6) = 117\,728,6$ тыс. грн.

Общая стоимость протяженной выработки может быть представлена как совокупность капитальных затрат на сооружение выработки и затрат на поддержание и ремонт выработки (эксплуатационных затрат). При этом, при сооружении и эксплуатации выработки следует стремиться к тому, чтобы эта совокупность затрат была минимальной, т.е.

$$\Sigma Z = Z_{кан} + Z_{\omega} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где $Z_{кан}$ – капитальные затраты на сооружение выработки; Z_{ω} – эксплуатационные затраты, связанные с ремонтом и поддержанием выработки.

Очевидно, что обеспечить выполнение условия (1) возможно, управляя входящими в выражение параметрами $Z_{кан}$ и Z_{ω} . Кроме того, следует заметить, что $Z_{\omega} = f(Z_{кан})$.

Уровень капитальных затрат, например, для участковых выработок, в предположении, что они закреплены рамно-анкерной крепью (рама КШПУ-11,7, шаг 0,8 м + 7 анкеров длиной 2,4 м) и имеют длину, равную общей длине проведения подготовительных выработок по ПАО за текущий год, составит

$$Z_{кан} = 104\,253,0 \times 1,862 = 194\,119,1 \text{ тыс. грн.}$$

Здесь учтены только затраты на крепежные материалы.

С учетом того, что основным видом ремонтов в подготовительных выработках является подрывка почвы (рис. 1), а стоимость подрывки 1 п.м. выработки для указанных условий (КШПУ-11,7) составит от 1,155 до 3,325 тыс. грн, уровень эксплуатационных затрат для данной группы составит

$$\text{от } Z_{\omega} = 104\,253,0 \times 1,155 = 120\,412,2 \text{ тыс. грн}$$

$$\text{до } Z_{\omega} = 104\,253,0 \times 3,325 = 346\,641,2 \text{ тыс. грн.}$$

Здесь учтено, что в выработках выполняются только работы по подрывке, без рихтовки и перекрепления, в течение только восьми месяцев (промежутков времени, в течение которого проводился сбор и

анализ статистической информации по шахтам) эксплуатации под влиянием очистных работ.

Таким образом, общая ожидаемая стоимость таких выработок, с учетом величин $Z_{кан}$ и Z_{ω} , составит

$$\text{от } \Sigma Z = 194\,119,1 + 120\,412,2 = 314\,531,3 \text{ тыс. грн}$$

$$\text{до } \Sigma Z = 194\,119,1 + 346\,641,2 = 540\,760,3 \text{ тыс. грн.}$$

Полученные суммы затрат на поддержание протяженных выработок показывают, что для ПАО „ДТЭК Павлоградуголь“ перспективным направлением является обоснование и внедрение способов повышения устойчивости выработок, применяемых на стадии строительства, что в дальнейшем позволит получить существенную экономию средств, связанных с выполнением ремонтных работ.

Выбор конкретного способа повышения устойчивости выработки, величина дополнительных затрат на сооружение выработки и, соответственно, эффективность вложенных средств зависит от степени сложности геомеханических условий разработки на конкретной шахте, которые, как показали шахтные исследования, существенно отличаются в пределах рассматриваемого угледобывающего района.

Оценка сложности геомеханических условий по показателю условий разработки θ . Одним из важных вопросов поддержания выработок является установление границы ведения горных работ, когда возникают серьезные проблемы при обеспечении их устойчивости. В технической литературе часто используют термин „большая глубина“, то есть такая глубина расположения выработок, ниже которой поведение породного массива существенно изменяется, а обеспечение эксплуатационного состояния выработок требует проведения специальных мероприятий. Это обстоятельство приводит к значительному увеличению затрат, связанных с поддержанием и ремонтом выработок.

Понятие „большая глубина разработки“ или „глубокая шахта“ не подразумевает какой-либо конкретной глубины. В качестве определяющего фактора для установления „больших глубин“ в разное время рассматривались уровень напряженного состояния породного массива, возникновение зоны пластических деформаций или характер протекания деформационного процесса.

Наиболее приемлемым и достаточно аргументированным, для оценки степени сложности условий разработки, является эмпирический комплексный показатель, предложенный Ю.З. Заславским

$$K = \gamma H / R_c, \quad (2)$$

где γ – объемный вес пород; H – глубина разработки; R_c – прочность пород на одноосное сжатие.

Рассматриваемый критерий объединяет в себе такие основные показатели состояния массива пород как его прочность и уровень напряжений, действующих в нем. По своей физической сущности параметр $\gamma H / R_c$ наиболее точно отражает состояние породного

массива в конкретных геомеханических условиях, вытекает из решения соответствующих упругопластических задач и позволяет классифицировать породный массив по степени его устойчивости.

Поэтому показательным является анализ и соотношение качественных и количественных характеристик деформационных процессов в выработках с величиной $\gamma H/R_c$. Далее в тексте будет использоваться величина, обратная показателю Ю.З. Заславского – комплексный показатель условий разработки

$$\theta = R_c k_c / \gamma H, \quad (3)$$

где прочность массива принимается с учетом коэффициента структурного ослабления – k_c .

Обобщения и результаты ряда исследований [1–3] показывают хорошую функциональную связь параметра θ с размерами зоны деформированных пород, частотой вывалов, величиной пучения пород почвы, а также с затратами на проведение и поддержание выработок.

Как было установлено в [4], границей больших глубин разработки для выработок, расположенных вне зоны влияния очистных работ, является величина показателя $\theta = 1,0$.

Оценка состояния выработок и условий разработки угольных пластов на шахтах ПАО „ДТЭК Павлоградуголь“. Для оценки геомеханических условий шахт по показателю θ приняты: средняя прочность вмещающих пород (аргиллиты, алевролиты) $R_c = 20$ МПа; коэффициент структурного ослабления, в соответствии с рекомендациями Б.М. Усаченко, $k_c = 0,3$; объемный вес горных пород $\gamma = 2600$ кг/м³; средняя глубина разработки на шахтах (приведена в табл. 1).

Таблица 1

Средняя глубина разработки на шахтах ПАО „ДТЭК Павлоградуголь“

Шахта	Глубина, м
„Терновская“	216
„Павлоградская“	230
„Им. Героев космоса“	424
„Благодатная“	331
„Степная“	400
„Юбилейная“	368
„Самарская“	195
„Днепровская“	290
„Западно-Донбасская“	567
„Им. Сташкова“	343

Расчетные значения показывают, что по величине показателя условий разработки $\theta < 1,0$ все шахты, за исключением „Самарской“, „Терновской“ и „Павлоградской“, относятся к категории „больших глубин“. При этом следует отметить шахты, условия поддержания на которых относятся к наиболее тяжелым – „Им. Героев космоса“, „Степная“, „Юбилейная“ и „Западно-Донбасская“. Показатель условий разработки на этих шахтах составляет $\theta < 0,67$ (рис. 2).

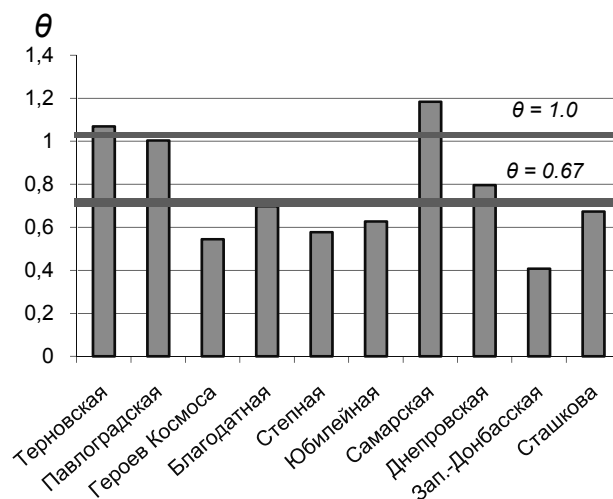


Рис. 2. Величина показателя условий разработки θ по шахтам ПАО „ДТЭК Павлоградуголь“

Самый большой объем выработок, с наибольшими отклонениями от начальных размеров крепи, соответствует шахтам, показатель условий разработки на которых наименьший – „Им. Героев космоса“ и „Западно-Донбасская“. Наименьший объем таких выработок на шахтах с наиболее благоприятными условиями – „Самарская“ и „Павлоградская“. На рис. 3 приведены данные о протяженности выработок с наибольшими отклонениями от первоначальных размеров по сечению, высоте и зазорам.

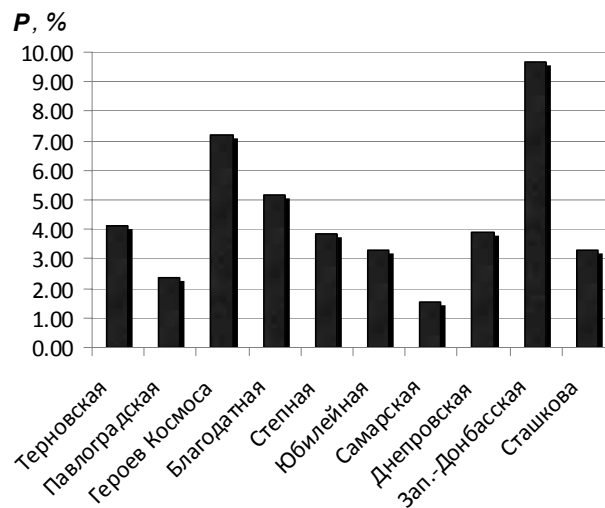


Рис. 3. Доля выработок с наибольшими отклонениями от начальных размеров по шахтам ПАО „ДТЭК Павлоградуголь“

Несмотря на отдельные несоответствия данных, приведенных на рис. 2 и 3, существует функциональная связь между показателем условий разработки θ и состоянием выработок (рис. 4), что может являться основой для прогноза объемов выработок, требующих ремонта и, соответственно, затрат на их поддержание

$$P = 2.6\theta^{-1.25}, \quad (4)$$

где P – доля выработок с наибольшими отклонениями от начальных (в %), от общей протяженности поддерживаемых.

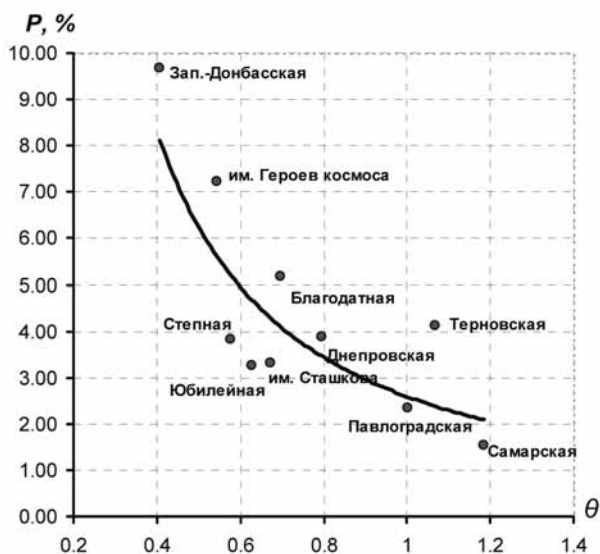


Рис. 4. Зависимость протяженности выработок (с наибольшими отклонениями от начальных размеров) от показателя условий разработки θ

Важнейшим фактором, влияющим на состояние выработок, является влажность, существенно снижающая прочность пород приконтурной зоны. Результаты исследований, выполненных для условий Западного Донбасса, показывают, что увлажнение пород (после вскрытия их выработками) влагой шахтной

атмосферы до 5–6% уменьшает прочность на сжатие для аргиллитов в 2–3 раза, алевролитов в 2...2,5 раза, песчаников в 1,5...2 раза. В соответствии с рекомендациями Г.С. Пиньковского, прочность аргиллитов и алевролитов, которые, в основном, залегают в кровле выработок, при увлажнении можно принимать равной 50 % от прочности в естественном состоянии.

Экспертная оценка состояния выработок и условий разработки угольных пластов на шахтах ПАО „ДТЭК Павлоградуголь“. Важный вопрос, который необходимо выяснить на данном этапе – насколько достоверно рассмотренные показатели описывают состояние выработок и могут быть использованы для различных прогнозных оценок, в том числе и затрат на поддержание.

Одним из методов, который часто используется для описания достаточно сложных объектов, какими в данном случае являются протяженные выработки, является экспертная оценка.

Методика экспертной оценки, которая использовалась в рассматриваемых исследованиях, заключалась в следующем. Эксперты, в качестве которых выступали сотрудники кафедры строительства и геомеханики НГУ и инженерно-технические работники ПАО „ДТЭК Павлоградуголь“, давали количественную оценку состояния выработки (или группы выработок одинакового назначения и условий эксплуатации) по категориям показателей, влияющих на их устойчивость и определяющих, в конечном счете, протяженность участков, требующих проведения ремонтных работ. Перечень показателей и критерии их балльной оценки представлены в анкете (табл. 2).

Таблица 2

Анкета экспертной оценки состояния выработок шахт ПАО „ДТЭК Павлоградуголь“

Оцениваемый параметр	Качественные характеристики параметра	Степень проявления	Балл 1...5
Качество установки крепи	Комплектность, соответствие паспорту крепления, наличие расклинки, забутовка закрепного пространства и др.	Соответствие паспорту – 5 ... Недопустимые для эксплуатации выработки отклонения от паспорта крепления – 1	
Общее состояние крепи на момент обследования	Состояние верхняка; стоек крепи; замков податливости; затяжек; работа замка податливости	Выработка без видимых нарушений крепи и рельсового пути – 5 ... Значительные деформации верхняка; деформации стоек, сведение стоек внутрь выработки; деформации/разрыв замков, срыв гаск на замках; значительные деформации или разрушение затяжек; просадка верхняка в замках выше паспортного значения; разрывы тела верхняков и стоек – 1	
Состояние почвы выработки	Поднятие почвы, приводящее к нарушению эксплуатационного состояния выработки	Пучение отсутствует – 5; ... Пучение вызывает недопустимое правилами безопасности уменьшение сечения или деформации крепи, недопустимые нарушения рельсового пути (конвейера) – 1	
Степень обводненности выработки	Количество воды (водоприток)	Сухая – 5 ... Водоприток непрерывающимися струями – 1	

Результаты экспертной оценки состояния выработок приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты экспертной оценки состояния протяженных выработок шахт ПАО „ДТЭК Павлоградуголь“

Шахта	Сумма баллов экспертной оценки, $\sum B_i$	Протяженность выработок, с наибольшими отклонениями от начальных размеров $F = 20 - \sum B_i$, (балл)
„Герновская“	16,5	3,5
„Павлоградская“	16,5	3,5
„Им. Героев космоса“	12,5	7,5
„Благодатная“	14	6
„Степная“	13,5	6,5
„Юбилейная“	16	4
„Самарская“	16	4
„Днепровская“	14	6
„Западно-Донбасская“	12,5	7,5
„Им. Сташкова“	15	5

Для сравнения результатов, полученных по данным объемов (протяженности) выработок, с наибольшими отклонениями от начальных размеров и экспертной оценки состояния выработок, последние могут быть представлены следующим образом.

Сумма баллов экспертной оценки состояния выработок может меняться в пределах от 4 (самая низкая оценка показателей качества выработки) до 20 (идеальное состояние выработки) при среднем значении $\sum B = 12$. Протяженность выработок, с наибольшими отклонениями от начальных размеров на шахтах, отнесенных по показателю условий разработки к наиболее сложным по геомеханическим условиям, не превышает 10% , что также является средним показателем по шахте.

Если рассмотреть разность между максимальной суммой баллов экспертной оценки $\sum B_{max}$ (20 баллов) и суммой баллов, которой оценена выработка $\sum B_i$, то масштаб полученной разницы будет соответствовать масштабу данных о протяженности выработок с неудовлетворительным состоянием (в %)

$$\sum B_{max} - \sum B_i = 20 - \sum B_i = F, \quad (5)$$

где F – сумма баллов экспертной оценки, характеризующих протяженность выработок, с наибольшими отклонениями от начальных размеров.

Смысл этих величин также идентичен. Это позволяет выполнить сравнение результатов, полученных по данным о протяженности выработок с неудовлетворительным состоянием на шахтах (рис. 5, сплошная линия) и результатами экспертной оценки (рис. 5, пунктирная линия).

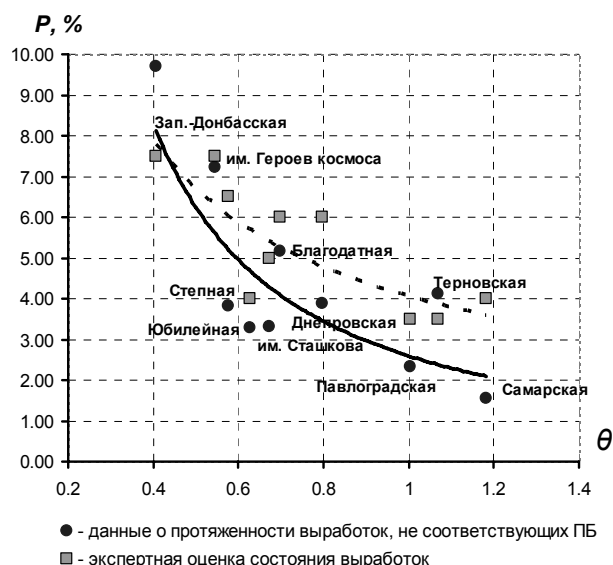


Рис. 5. Зависимость объемов выработок с наибольшими отклонениями от начальных размеров от показателя условий разработки θ

Результаты, полученные по данным экспертной оценки состояния выработок, достаточно хорошо соответствуют официальным данным об объемах выработок, требующих ремонта.

Обоснование комплекса технических решений по повышению длительной устойчивости протяженных выработок шахт ПАО „ДТЭК Павлоградуголь“. Следует отметить, что с начала освоения месторождения в качестве способов и средств повышения устойчивости выработок в разных объемах применялись: замкнутые конструкции металлических крепей, инъекционное упрочнение массива горных пород вокруг выработок вяжущими материалами, тампонаж закрепного пространства, анкерная и рамно-анкерная крепь, новые конструкции металлических крепей, а также комбинированные крепи.

Анализ опыта их применения позволяет выделить следующие наиболее эффективные из них для сложных геомеханических условий Западного Донбасса:

- тампонаж закрепного пространства и приконтурного массива пород;
- обеспечение плотного контакта крепи с породным контуром путем применения рукавов Булл-флекс;
- применение комбинированных крепей АНТ (арка, набрызгбетон, тампонаж), использующих несущую способность приконтурного массива пород;
- применение анкерной и рамно-анкерной крепи, включая канатные анкера, как элемент комбинированной крепи.

Данные способы, если обратиться к отечественному и мировому опыту поддержания выработок на больших глубинах разработки, считаются наиболее эффективными, поскольку в качестве несущего элемента используют укрепленный анкерами или вяжущими веществами приконтурный массив горных пород, предупреждают разрушения приконтурного

массива пород или снижают их дальнейшее расслоение и смещения породного контура.

В качестве примера эффективного использования систем крепи можно привести опыт крепления выработок глубоких угольных шахтах Германии [5]. Так в выработках арочного сечения применяются только две разные системы крепления:

1) металлические арочные рамы с полным тампоном закрепного пространства;

2) комбинированная крепь (анкерование, металлические арочные рамы и полный тампонаж закрепного пространства).

С середины 1990-х годов на шахте „Иббенбюрен“, в результате более чем 15-летней оптимизации технологии работ и модернизации технических решений, применяется исключительно крепь типа А (система крепления 2). Технология ее возведения включает следующие этапы. В забое после выемки породы устанавливают анкеры в качестве предварительной крепи. Эти анкеры являются крепью нарастающего сопротивления, эффективно предотвращающей разрыхление породного массива и, в значительной мере, способствующей уменьшению конвергенции. На расстоянии примерно 40–50 м от забоя устанавливается поддерживающая крепь, состоящая из арок стального профиля с расстоянием между рамами от 0,6 до 1,2 м. Еще через 15 м производится гидромеханическое заполнение закрепного пространства строительной смесью, состоящей из цемента и золы уноса (соотношением 1:2).

Прототипом рассматриваемой технологии и конструкции крепи, по сути, являются, применявшиеся на шахтах Западного и Центрального Донбасса и рекомендовавшие себя как эффективные для сложных геомеханических условий, крепи АНТ (система крепления 1) и АНТ-А (АНТ + анкера) (система крепления 2).

Выводы.

1. Интенсивный путь развития ПАО „ДТЭК Павлоградуголь“ и повышение объемов добычи угля на базе новейших техники и технологий требует реализации комплекса мероприятий по обеспечению устойчивости комплекса капитальных и подготовительных выработок.

2. Для оценки степени сложности геомеханических условий может использоваться показатель условий разработки $\theta = R_k/\gamma H$. Выполненный анализ показывает, что по величине показателя условий разработки $\theta < 1,0$ все шахты, за исключением „Самарской“, „Терновской“ и „Павлоградской“, относятся к категории „больших глубин разработки“. Наиболее сложными являются условиями поддержания выработок на шахтах „Им. Героев космоса“, „Степная“, „Юбилейная“ и „Западно-Донбасская“ ($\theta < 0,67$).

3. Установлена зависимость между показателем условий разработки θ и объемом выработок, не соответствующих эксплуатационным характеристикам, которая может являться основой для прогноза затрат на поддержание выработок в конкретных геомеханических условиях.

4. Достоверной может служить экспертная оценка по предложенной методике, включающая комплексную оценку состояния выработки по категориям показателей, влияющих на их устойчивость и определяющих, в конечном счете, протяженность участков, требующих проведения ремонтных работ.

5. Анализ результатов применения всех известных средств и способов повышения устойчивости выработок показывает, что наибольший эффект в повышении устойчивости выработок, дают мероприятия, направленные на создание взаимодействующей системы „крепь-массив“, упрочнение и предупреждение расслоений приконтурных пород.

Следует также отметить, что, наряду с применением комплекса технических мероприятий, для решения проблемы длительной устойчивости комплекса протяженных выработок в сложных условиях шахт ПАО „ДТЭК Павлоградуголь“ необходимо выполнение следующих организационных мероприятий:

1. Строгое соблюдение технологического регламента при креплении протяженной выработки.

2. Выполнение комплекса научных исследований, направленных на обоснование оптимальных параметров решений в области поддержания выработок.

3. Разработка долговременной программы по повышению устойчивости протяженных выработок.

4. Создание геомеханического отдела, осуществляющего постоянный мониторинг, анализ и корректировку программы повышения устойчивости выработок.

Список литературы / References

- Литвинский Г.Г. Метод прогноза пучения почвы в горных выработках / Г.Г. Литвинский, Э.В. Фесенко // Уголь Украины. – 2004. – № 1. – С. 9–11.
Litvynskiy, G.G. and Fesenko, E.V. (2004), “Method of prognosis of floor heaving in the mine working”, *Ugol Ukrainy*, no. 1, pp. 9–11.
- Роенко А.Н. Устойчивость подготовительных выработок угольных шахт в условиях больших глубин разработки: автореф. дис. на соискание уч. степени докт. техн. наук: спец. 05.15.04 „Шахтное и подземное строительство“ / Роенко Анатолий Николаевич; Гос. высшее уч. заведение „Нац. горный ун-т“. – Днепропетровск, 1995. – 32 с.
Royenko, A.N. (1995), “Stability of long workings of coal mines in the conditions of deep development”, Abstract of Dr. Sci. (Tech.) dissertation, dept. Mine and Underground Construction, National Mining University, Dnipropetrovsk, Ukraine.
- Шашенко А.Н. Критерии оценки устойчивости пород почвы горных выработок / А.Н. Шашенко, А.В. Солодянкин // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2007. – № 1. – С. 44–49.
Shashenko, A.N. and Solodyankin, A.V. (2007) “Criteria of estimation of stability of rock of floor of the main working”, *Naukovyi visnyk Natsionalnoho Hirnychoho universitetu*, no. 1, pp. 44–49.

4. Солодянкин А.В. Геомеханические модели в системе геомониторинга глубоких угольных шахт и способы обеспечения устойчивости выработок: автореф. дис. на соискание уч. степени докт. техн. наук: спец. 05.15.09 „Геотехническая и горная механика“ / Солодянкин Александр Викторович; Гос. высшее уч. заведение „Нац. горный ун-т“. – Днепропетровск, 2009. – 35 с.

Solodyankin, A.V. (2009), “Geomechanic models in the system of geo-monitoring in deep coal mines and methods of providing stability of long workings”, Abstract of Dr. Sci. (Tech.) dissertation, dept. Geomechanics and Rock Mechanics, National Mining University, Dnipropetrovsk, Ukraine.

5. Баймдик Ю. Буровзрывная проходка пластовых штреков с анкерной крепью. Выявление потенциала повышения производительности / Ю. Баймдик, М.Т. Штеттнер // Глюкауф. – 2008. – № 2(3). – С. 18–27.

Baymdik, Yu. and Shtettner, M.T. (2008), “Drilling and blasting driving of strata drifts with the roof bolting. Estimation of potential of productivity increase”, *Glyukauf*, no. 2(3), pp. 18–27.

Мета. Обґрунтування комплексу ефективних заходів із підвищення стійкості протяжних виробок шахт ПАО „ДТЕК Павлоградвугілля“ на основі результатів комплексного аналізу існуючого їх стану, даних про об’єми та види ремонтних робіт й оцінки ступеня складності умов розробки вугільних пластів регіону Західного Донбасу.

Методика. Методичною основою виконаних комплексних досліджень є: аналіз і узагальнення літературних джерел і позитивного досвіду підтримки виробок у складних умовах експлуатації; методи шахтних візуальних обстежень; методи статистичної, вартісної, аналітичної та експертної оцінки даних щодо стану протяжних виробок і міри складності умов розробки; порівняльний аналіз отриманих результатів.

Результати. Результатами досліджень є: узагальнені показники ремонтних робіт по шахтах виробничого об’єднання і окремих групах виробок; розрахункові значення витрат на спорудження і підтримку протяжних виробок. Виділена група шахт, віднесених до категорії „великих“ глибин розробки. Розроблено методику експертної оцінки стану виробок шахт. Визначено залежності протяжності виробок із незадовільним станом від показника умов розробки, отримані за результатами аналітичних розрахунків і експертної оцінки. Обґрунтовано напрями підвищення стійкості протяжних виробок шахт ПАО „ДТЕК Павлоградвугілля“.

Наукова новизна. Уперше отримано залежності протяжності виробок із незадовільним станом від показника умов розробки для даних складних умов шахт Західного Донбасу; розроблено нову методику оцінки стану виробок і умов розробки вугільних пластів.

Практична значимість. Отримані залежності дозволяють на стадії проектування визначати можливі витрати на ремонт і підтримку виробок в експлуатаційному стані. Обґрунтовано ефективні для даних гірничо-геологічних умов напрями вдосконалення кріплення і способів підвищення стійкості протяжних

виробок. Визначено технічні та організаційні заходи щодо вирішення проблеми забезпечення тривалої стійкості комплексу протяжних виробок у складних умовах шахт ПАО „ДТЕК Павлоградвугілля“.

Ключові слова: *протяжні виробки, стійкість, глибока шахта, витрати на підтримку, способи підтримки*

Purpose. Detailed analysis of the existent state of complex of the long workings of mines owned by Private Joint-Stock Company “Pavlogradugol”, estimation of total expenses on construction and maintenance of workings taking into account repairs, estimation of level of difficulty of the development of coal seams in the mines of Western Donbass, substantiation of effective ways of increasing the stability of workings.

Methodology. Methodical basis of the carried out complex researches is as follows: an analysis and generalization of literary sources and positive experience of maintenance of workings in difficult conditions; methods of mine visual inspection; methods of statistical, valuation, analytical and expert evaluation of the data on the state of the extended workings and complexity of the conditions of development; a comparative analysis of the results achieved.

Findings. Indices of repair operations on the mines of production complex and separate groups of mine workings were generalized. Values of expenses on construction and maintenance of the long workings were calculated. A group of mines was attributed to the category of mines with ‘large’ depth of development. A method of expert estimation of the state of mine workings was created. Dependence of the length of the working’s unsatisfactory state on the development condition indicator obtained from the results of analytical calculations and expert estimation was defined. Ways of increasing the stability of extended mine workings of Private Joint-Stock Company “Pavlogradugol” were substantiated.

Originality. Dependences of long working’s unsatisfactory state on the development condition indicator for the examined complex conditions of mines of Western Donbass were achieved for the first time; the new method of estimation of the state of working and coal seam development conditions was designed.

Practical value. The received dependences allow determining possible expenses on repair and maintenance of workings at the stage of planning. The effective ways of improvement of support and methods of the long workings stability increase in the examined mining and geological conditions were found. Technical and organizational measures for solution of the problem of extended workings long-term stability providing in the difficult geological conditions of mines of Private Joint-Stock Company “Pavlogradugol” were determined.

Keywords: *long workings, stability, deep mine, expenses on maintenance, methods of maintenance*

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук О.М. Шашенком. Дата надходження рукопису 08.11.11.