

ОЦЕНКА ГЕОТЕХНИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА АКТИВИЗАЦИЮ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В МАССИВЕ ГОРНЫХ ПОРОД В ОКРЕСТНОСТИ ПРОТЯЖЕННЫХ ВЫРАБОТОК

*А.В. Солодянкин, А.Е. Григорьев, А.З. Прокудин, О.А. Солодянкина,
Национальный технический университет «Днепровская политехника», Украина*

Приведены результаты исследований деформационных процессов, выполненных на шахте имени Героев космоса. Выполнено сравнение данных, полученных на текущий момент исследований, и результатов, полученных в 1970-1980 гг. Показано, что интенсивность деформационных процессов в выработках шахты за последние 30-40 лет существенно возросла, что требует учета этого факта при оценке степени сложности условий эксплуатации выработок, выборе параметров крепи и назначении мероприятий по безопасному ведению работ.

Введение. В настоящее время Украина испытывает острый дефицит антрацитовых марок угля. Поэтому стратегически важным направлением развития энергетического сектора страны стала потребность обеспечения своих ТЭС газовыми марками угля, на замену антрацитовых. На подконтрольной территории запасов угля газовых марок достаточно. Это месторождения, на которых ведут разработку шахты Западного Донбасса («ДТЭК Павлоградуголь») и «ДТЭК Добропольеуголь». Лидером по добыче угля среди шахт ДТЭК ЭНЕРГО является шахта имени Героев космоса, годовой объем добычи которой составляет более 3 млн. тонн.

При развитии горных работ и увеличении глубины разработки особую актуальность приобретают вопросы сооружения и поддержания капитальных выработок, с длительным сроком эксплуатации, обеспечивающих подготовку новых участков и глубоких горизонтов.

Решение проблемы повышения устойчивости выработок связано с максимальным использованием несущей способности массива горных пород, вовлечению его в совместную работу с крепью. В сложных условиях шахт Западного Донбасса хорошо зарекомендовала себя крепь с тампонажем закрепного пространства. Несмотря на то, что технология возведения таких крепей давно известны, трудоемкость и стоимость их остаются достаточно высокими.

Кроме того, в настоящее время ситуация на шахтах региона существенно ухудшилась. Увеличилась глубина разработки до 400...550 м, возросла техногенная нарушенность массива пород. Интенсификация очистных работ на шахтах потребовала увеличения сечения выработок в среднем от 10 м² до 18 м². Указанные причины привели к тому, что сейчас при сооружении капитальных выработок, из-за сложной организации работ, технология заполнения закрепного пространства либо не проводится, либо это делается с большим отставанием от забоя, что не обеспечивает длительной устойчивости выработок и требует в последующем выполнения дорогостоящих и трудоемких ремонтных работ.

Анализ состояния протяженных выработок в сложных условиях эксплуатации.

В настоящее время понимание и изученность геомеханических процессов, происходящих в окрестности горных выработок, находится на высоком уровне. Изучению особенностей их протекания в условиях шахт Западного Донбасса посвящены работы Максимова А.П., Усаченко Б.М., Стыцина В.И., Шашенко А.Н., Халимендика Ю.М., Кириченко В.Я., Шмиголя А.В., Выгодина М.А. и многих других. Все исследователи отмечают специфику деформационных процессов обусловленную, в первую очередь, горно-геологическими условиями – наличием слабых пород, их слоистостью, нарушенностью и др.

Детальные исследования по изучению закономерностей деформирования породного массива вокруг протяженных выработок в условиях глубоких шахт Западного Донбасса в 1980-х годах были выполнены Выгодиным М.А. с использованием глубинных и контурных реперов [1-2]. Некоторые результаты этих исследований приведены на рис. 1 и 2.

Как видно из графиков, геомеханические процессы в окрестности исследуемой типичной выработки, расположенной вне зоны влияния очистных работ, нелинейно развиваются в течение 50 суток. За это время смещения почвы достигают того критического значения, когда

для нормального протекания технологических процессов в выработке уже требуется рихтовка рельсового пути. Выполненный тампонаж закрепного пространства приводит к стабилизации смещений в приконтурном массиве и существенному снижению скорости деформаций, а в отдельных случаях, к полной их остановке.

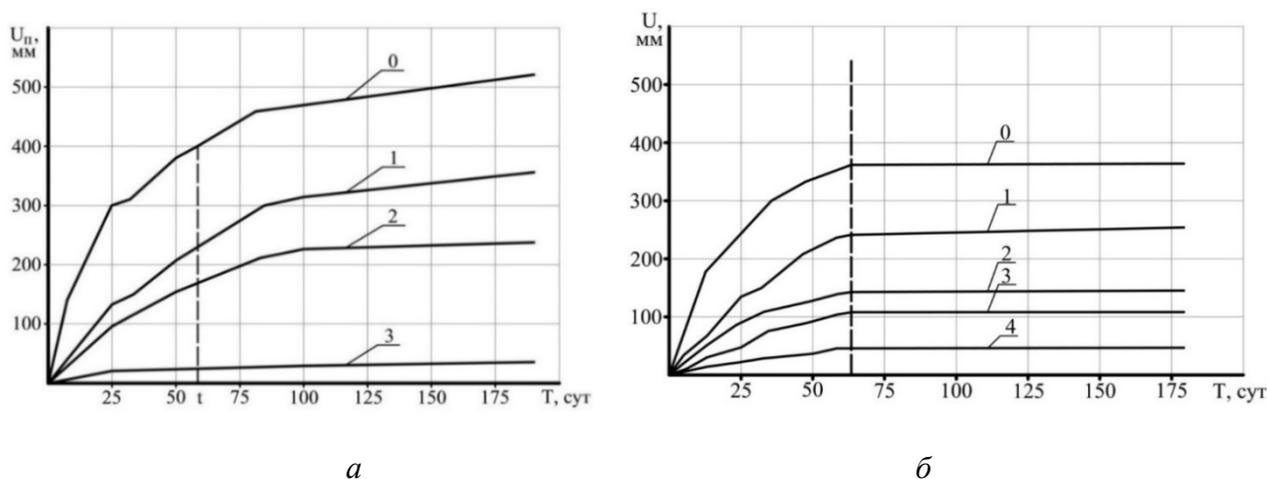


Рис. 1. Смещения приконтурного массива почвы (а) и кровли (б) в восточном магистральном конвейерном штреке гор. 370 м шахты им. Героев космоса: 0, 1, 2, 3 – глубина заложения реперов в м; t – время проведения тампонажа закрепного пространства, сут

Аналогичные результаты исследований в выработках шахт Западного Донбасса в 1970-80-е годы с полученными зависимостями смещений контура выработки были выполнены Ю.М. Халимендиком, Б.М. Усаченко, В.И. Стыциным [3-5] и др. Параметры деформирования приконтурного массива по их данным в целом сходны с результатами М.А. Выгодина.

На рис. 3 (график 2) приведена совокупность этих данных для смещений почвы выработки, которая аппроксимирована выражением:

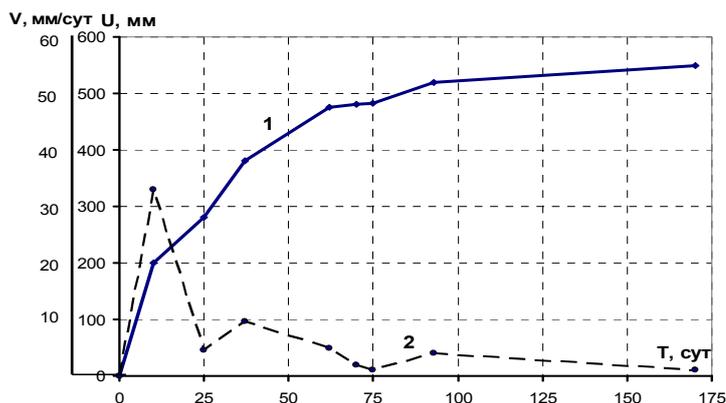


Рис. 2. График смещений пород почвы (1) и скорости смещений (2) во времени в кваршлагге №3 гор. 470 м шахты им. Героев космоса

$$U_{1,2} = a \cdot (1 - e^{-bL}) \quad (1)$$

где U – смещения пород почвы, L – расстояние до забоя; a , b – коэффициенты аппроксимации: $a_1 = 706,5$, $b_1 = 0,0132$, $a_2 = 530,3$, $b_2 = 0,0177$.

Полученные результаты свидетельствуют, что смещения пород почвы достигали опасной величины на расстоянии примерно 50-60 м от забоя выработки. Поэтому тампонаж, выполняемый за проходческим комплексом оборудования на расстоянии 30-40 м от забоя, проводился до реализации значительных деформаций приконтурного массива пород и был эффективным мероприятием для повышения устойчивости выработок.

Результаты шахтных исследований, выполненные сотрудниками кафедры БГГМ НТУ «Днепровская политехника» на протяжении 2013-2016 гг. в строящихся капитальных выработках шахты имени Героев космоса, показали, что на современном этапе развития горных работ, деформационные процессы происходят более интенсивно, чем 30-40 лет назад в тех же горно-геологических условиях (рис. 3, график 1).

Так, активизация деформационных процессов происходит уже на расстоянии 10-15 м от забоя, а сразу за проходческим комплексом пучение почвы достигает критических величин. Выполнение тампонажных работ на этом этапе строительства выработки уже выполняется с опозданием и его эффективность невысокая.

Анализируя полученные результаты необходимо отметить, что и для первой, и для второй зависимости использовались данные, полученные при сооружении капитальных выработок в одних и тех же условиях – пласт С₁₀, горизонт 370 м шахты имени Героев космоса. При этом смещения контура выработки (пород почвы) увеличились в среднем в $U_1 / U_2 = 1,32$ раза.

Таким образом, целью исследований, представленных в статье, является оценка

геотехнических факторов, оказывающих влияние на деформационные процессы в приконтурном массиве пород.

Оценка факторов, влияющих на активизацию деформационных процессов в массиве горных пород в окрестности протяженных выработок

Следует отметить, что на состояние строящихся и эксплуатируемых выработок оказывает влияние большое количество факторов, определяющих ее устойчивость, объемы ремонтных работ, безопасность рабочих при выполнении производственных процессов.

Степень влияния этих факторов на устойчивость породных обнажений различна. Также различен и уровень изученности их воздействия. Поэтому часто исследователи и проектировщики оценивают совокупное их влияние на состояние выработок и технологию ведения горных работ.

Наиболее приемлемым и достаточно аргументированным для оценки степени сложности условий ведения горных работ, 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 массива пород на сжатие.

По своей физической сущности параметр $\gamma H / R_c$ наиболее точно отражает состояние породного массива в конкретных геомеханических условиях и вытекает из решения соответствующих упругопластических задач [6], позволяет классифицировать породный массив по степени его устойчивости и рекомендуется нормативными документами [7], в качестве критерия оценки условий ведения горных работ.

Поэтому более показательным является анализ и соотнесение качественных и количественных характеристик деформационных процессов в выработках с величиной $\gamma H / R_c$.

Нами далее будет использоваться величина обратная показателю Ю.З. Заславского – комплексный показатель условий разработки:

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

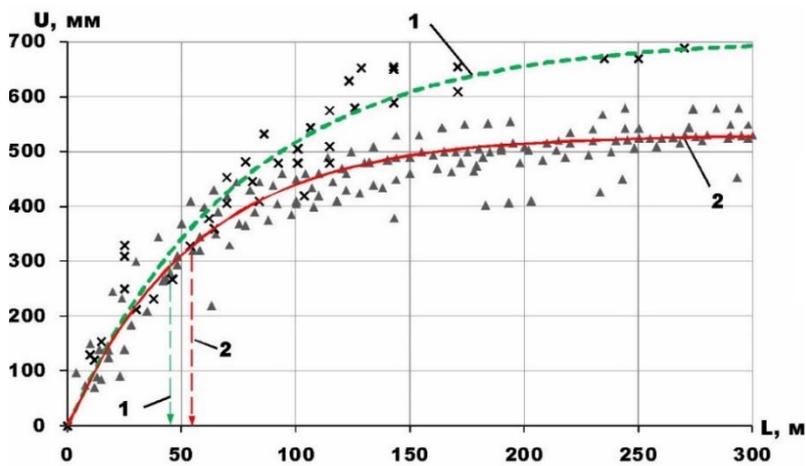


Рис. 3. Графики смещений пород почвы в выработках гор. 370 м шахты им. Героев космоса выполненных по результатам исследований: 1 – на современном этапе развития горных работ; 2 – в период 1970-1980 гг.

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

Рассматриваемый критерий (θ , K) объединяет в себе такие основные показатели состояния массива пород, как его прочность – Rck_c и уровень действующих в нем напряжений – γH .

По величине показателя условий разработки θ степень сложности ведения горных работ на шахтах ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» можно разделить на группы [8]:

А. $\theta > 1$ – благоприятные условия проведения и поддержания выработок (шахты Терновская, Самарская);

Б. $\theta < 1$ – неблагоприятные условия проведения и поддержания выработок (шахты Павлоградская, Благодатная, им. Сташкова, Днепровская);

В. $\theta < 0,67$ – особо сложные условия проведения и поддержания выработок (шахты им. Героев космоса, Западодонбасская, Юбилейная, Степная).

Для рассматриваемого гор. 370 м шахты имени Героев космоса величина этого показателя составляла $\theta = 0,62$, что относит условия сооружения и эксплуатации протяженных выработок к категории особо сложных.

Изменение значений Rck_c и γH за последние 30-40 лет, а также различие некоторых параметров технологии проведения магистральных выработок и необходимо учесть для оценки степени интенсификации деформационных процессов при ведении горнопроходческих работ на рассматриваемой шахте.

Актуальность исследований предопределяется необходимостью дальнейшей подготовки к отработке новых запасов и сооружения комплекса выработок в пределах интенсивно отрабатываемого блока углепродуктивной толщи. Достаточно сказать, что шахта имени Героев космоса была введена в эксплуатацию в 1979 г. с проектной производительностью 1,5 млн. тонн угля в год. Наивысшего своего показателя в советский период шахта достигла в 1989 г., выдав на-гора 1,403 млн. тонн угля.

В настоящее время шахтоуправление имени Героев космоса (вместе с шахтой Благодатной) достигло рекордного уровня добычи – 4,8 млн. тонн в год. При этом основная добыча по шахтоуправлению производится шахтой имени Героев космоса – более 3 млн. тонн в год. Добыча угля ведется одновременно 4-5 лавами на 2-3-х горизонтах.

Учет влияния изменения площади сечения выработки на смещения породного контура.

Среди горнотехнических факторов за последние годы в наибольшей степени изменилась площадь поперечного сечения выработки. Площадь сечения сооружаемых магистральных выработок в 1980-е годы составляла $S_{св} = 12,7 \text{ м}^2$. Развитие горных работ и их интенсификация привели к необходимости увеличения сечения магистральных выработок. В настоящее время основным сечением сооружаемых капитальных горных выработок является $S_{св} = 17,7 \text{ м}^2$ (металлическая податливая крепь КШПУ-17.7 с обратным сводом).

В общем случае влияние площади поперечного сечения выработки на смещения пород оценивают коэффициентом сечения k_s , значения которого приведены в табл. 3.1 [9].

Таблица 1

Значения коэффициента k_s для расчета смещений породного контура

$S_{св}, \text{ м}^2$	4	6	8	10	12	14	16	18	20
k_s	0,65	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,25	1,35	1,4

Г.Л. Фисенко [9] предлагает формулу для расчета:

$$k_s = 0,315 \sqrt{S} . \quad (4)$$

С учетом данных табл. 1 увеличение площади поперечного сечения капитальных выработок от $S_{св} = 12,7 \text{ м}^2$ до $S_{св} = 17,7 \text{ м}^2$ приведет к увеличению смещений контура на величину $k_s = 1,17$. Значение k_s , определенное по (5) составляет $k_s = 1,18$. Для дальнейших расчетов принимаем $k_s = 1,175$.

Оценка прочности массива (Rck_c).

Основным параметром, влияющим на поведение пород в окрестности проводимых выработок, является их прочность. Несоответствие применяемых средств и способов крепления и охраны горных выработок условиям работы связан с тем, что традиционные методы определения основных прочностных параметров породного массива для конкретного региона не в состоянии в полной мере учесть факторы, определяющие реальную горно-геологическую ситуацию.

Предел прочности пород на одноосное сжатие определяется по стандартным методикам проведения лабораторных испытаний. Прочность породного массива отличается от прочности лабораторных образцов, что учитывается введением в расчетные методики коэффициента структурного ослабления.

Значительный объем исследований по определению в лабораторных и натуральных условиях коэффициента структурного ослабления трещиноватого массива выполнили Глушко В.Т., Костомаров Н.Е., Кирничанский Г.Г., Безазьян А.В., Фисенко Г.П. и др. По результатам их исследований значение коэффициента k_c рекомендуется принимать в пределах 0,1-0,5 в зависимости от степени трещиноватости массива, ориентации систем трещин и элементов залегания, прочностных характеристик пород, слагающих массива и т.д.

Также при проектировании горных выработок коэффициент структурного ослабления можно определять по данным количественного анализа нарушенности массива пород в местах проектируемого расположения выработки на основании данных инженерно-геологических изысканий по среднему расстоянию между поверхностями ослабления пород.

Применительно к горно-геологическим условиям шахт Западного Донбасса значения коэффициента структурного ослабления трещиноватого массива рекомендуется принимать равным для аргиллитов 0,2, для алевролитов 0,3.

Одним из важных факторов, влияющим на состояние выработок, является влажность, существенно снижающая прочностные характеристики вмещающих выработку горных пород. Во влагонасыщенном состоянии породы распадаются по плоскостям напластования и снижают свои прочностные показатели в 4 и более раз (теряют до 80% прочности [10]).

В связи с этим, учет резкого снижения прочности от влажности пород требует введения соответствующих поправочных коэффициентов. В общем виде, изменение прочности пород от влажности учитывается коэффициентом структурного ослабления при определении предела прочности на одноосное сжатие.

Более достоверным, как считает автор [11], для определения сравнительной прочности пород в массиве с учетом их структурного ослабления, влажности, и времени воздействия нагрузки, следует пользоваться выражением:

$$R_c = R_c^l k_c k_{вл} k_{дл}, \text{ МПа}, \quad (5)$$

где R_c^l – прочность пород, определенная в лабораторных условиях на стандартных образцах, МПа; k_c – коэффициент структурного ослабления пород; $k_{вл}$ – коэффициент влияния влажности на прочностные характеристики пород; $k_{дл}$ – коэффициент длительной прочности.

Оценка горно-геологических и геомеханических условий шахт «ДТЭК Павлоградуголь», выполненная в рамках проводимых в течение 2012...2016 гг. научно-исследовательских работ, позволила систематизировать некоторые количественные и качественные показатели, воздействие которых в совокупности будет определять дальнейшее состояние горных работ, эффективность применяемых средств и способов обеспечения устойчивости комплекса подземных горных выработок – очистных и подготовительных. Наряду с отмеченными выше горно-геологическими особенностями региона, ухудшающими условия ведения работ, техническими службами отмечаются факторы, влияние которых по мере эксплуатации месторождения и увеличения глубины работ, будет все более весомым. К ним следует отнести техногенную нарушенность вмещающего массива пород, повышение тектонической нарушенности, увеличение зон повышенного горного давления.

Учет перечисленных выше факторов должно проводиться путем введения соответствующих

коэффициентов, уменьшающих прочность пород (например, $k_{дл}$ – коэффициент длительной прочности, $k_{тн}$ – коэффициент техногенной нарушенности и т.п.). Так, тектоническая нарушенность места расположения выработки или степень трещиноватости слоя породы, которая оценивается коэффициентом $k_{сн}$ [9], в зависимости от типа нарушения (пликативное, дизъюнктивное) вызывает снижение прочностных характеристик пород – $k_{сн} = 0,3 \div 0,9$.

Оценка уровня действующих напряжений (γH)

Кроме того, воздействие этих же факторов – влияние зон повышенного горного давления от проводимых очистных работ в пределах рассматриваемого горизонта, влияние отработки или надработки требует введения соответствующих коэффициентов концентрации к действующим на данной глубине геостатическим напряжениям.

Основное влияние на состояние выработки оказывает опорное давление, возникающее в результате концентрации напряжений в приконтурном пространстве. Этому давлению противодействует не только крепь и охранные конструкции, но и сопротивляемость пород, окружающих выработку, их несущая способность, определяемая прочностными свойствами.

В условиях интенсивной очистной выемки (в 2018 году на шахте имени Героев космоса одновременно работало 3 лавы в западном крыле 370 горизонта и 1 лава в восточном крыле) целесообразно изучение и учет техногенного поля напряжений, формирующегося в результате взаимного влияния нескольких выработанных пространств в условиях высокой структурной неоднородности и геологической нарушенности массива горных пород.

В [12] установлено, что значительная неоднородность естественных полей напряжений, предопределяемая особенностями тектонической структуры месторождений, еще больше усиливается при техногенном воздействии на породный массив при ведении горных работ.

При выборе параметров систем разработки на Старобинском месторождении, например, для учета нагрузок на крепь выработок необходимо вводить расчетные коэффициенты [13]:

– K_1' , учитывающего влияние очистных работ в пределах $K_1' = 1,0 \div 3,0$;

– K_2' , учитывающего способ охраны выработок $K_2' = 0,4 \div 0,8$;

– K_3' , учитывающего концентрацию напряжений в зоне расположения выработок, в пределах $K_3' = 1,0 \div 3,0$.

При необходимости учета всех трех факторов, принимается результирующий коэффициент $K_p = K_1' K_2' K_3' = 1,13 \div 3,12$.

В работе [14] для условий шахты имени Героев космоса было выполнено дискретное 3-D моделирование для оценки напряженно-деформированного состояния слоистого породного массива с техногенными и естественными нарушениями, содержащего длинную одиночную выработку с использованием программного комплекса «Phase 2».

По результатам расчетов было установлено, что при определении нагрузки на крепь и величины ее податливости необходимо, в первом приближении, в зависимости от геомеханической ситуации вводить следующие поправочные коэффициенты: при надработке – $k_1 = 0,75$; при подработке – $k_2 = 1,25$; при пересечении геологического нарушения, на участке подработки и надработки – $k_3 = 1,5$; на участке подработки и надработки – $k_4 = 1,35$.

Ряд исследователей при оценке устойчивости выработок используют коэффициент изрезанности массива. Под коэффициентом изрезанности массива $K_{изр}$ понимается [15] относительный объем выработок, попадающий в шар радиусом L_{min} с центром в рассматриваемом сечении. При расположении выработок в одной горизонтальной плоскости шар можно заменить окружностью, а объем выработок – длиной их участков, попадающих в эту окружность. Определив суммарную длину данных выработок ΣL_v с помощью отношения

$$K_{изр} = \Sigma L_v / 2 L_{min}, \quad (6)$$

получаем относительную протяженность выработок, влияющих на рассматриваемое сечение.

Изрезанность массива выработками оказывает существенное влияние на деформации приконтурного массива пород. Так, например, по данным [16], коэффициент изрезанности

массива, определенный для одной из выработок ремонтного блока гаража в условиях Верхнекамского месторождения калийных солей $K_{изр} = 3,54$ равносильно увеличению глубины расположения одиночной выработки с 395 до 474 м (на 20%). Это в два раза увеличивает скорость вертикальной конвергенции приконтурных пород по сравнению со скоростью смещений одиночной незакрепленной выработки.

Кроме того, как установлено в [15], между коэффициентом изрезанности $K_{изр}$ и коэффициентом, характеризующим увеличение смещения из-за влияния соседних выработок K_b , имеется тесная связь, которая в [17] аппроксимирована в виде зависимости:

$$K_b = 1 / (1,11 - 0,11 K_{изр}).$$

Важным тут является то, что изрезанность массива выработками, а также влияние соседних выработок с увеличением времени эксплуатации обрабатываемого горизонта (крыла, участка) шахты только возрастают.

Определение коэффициента интенсивности деформаций k_n в комплексном показателе условий разработки θ

С учетом сделанного выше анализа и обоснований относительно оценки горно-геологических и геотехнических факторов при проектировании горных работ, показатель условий разработки θ для рассматриваемых шахт будет иметь более низкие значения, соответствующие ситуации на современном этапе эксплуатации.

В [18, 19] была получена зависимость смещений контура выработок от времени эксплуатации выработки T и показателя условий разработки θ :

$$U_i = 0,45k_n d(a \ln(T) - b)\theta^{(0,9-c)}, \text{ м}, \quad (7)$$

где a и b – коэффициенты, зависящие от показателя условий разработки θ ; c и d – переменные, зависящие от коэффициента бокового распора λ ; k_n – коэффициент, учитывающий направление выработки по отношению к простиранию пород и угол наклона пластов.

Как было установлено ранее (см. (1)), отношение смещений почвы выработки U_2 , для выработок, проводимых на современном этапе к смещениям U_1 для выработок, проводимых в 1970-80-х годах составляет $U_2 / U_1 = 1,32$.

Выше было показано, что увеличение смещений, связанное с повышением площади поперечного сечения выработок, может быть оценено коэффициентом сечения $k_s = 1,175$.

Таким образом, смещения почвы выработки для U_2 для выработок с $S_2 = 17,7 \text{ м}^2$ должны быть приведены посредством коэффициента сечения k_s к уровню смещений при сечении выработки $S_1 = 12,7 \text{ м}^2$.

$$\frac{U_2/k_s}{U_1} = \frac{U_2}{U_1 k_s} = \frac{1,32}{1,175} = 1,123.$$

Тогда отношение смещений, определяемые по ф. (3.8), после сокращений будут приведены к простому соотношению:

$$\frac{U_2 = f(\theta_2)}{U_1 = f(\theta_1)} = \frac{\theta_2^{(0,9-c)}}{\theta_1^{(0,9-c)}} = 1,123 \quad (8)$$

где $\theta_1 = \frac{R_c k_c}{\gamma H}$ – показатель условий разработки для периода 1970-80 гг.; $\theta_2 = \frac{R_c k_c}{\gamma H} k_n$ – показатель условий разработки для современного этапа, с учетом коэффициента интенсивности деформаций k_n .

В соответствии с [18]:

$$c = -0,52 \lambda^2 + 1,5 \lambda + 0,2,$$

Поскольку для угледобывающего региона Западного Донбасса $\lambda \approx 1,0$, значение $c = 1,18$.

После решения (8) получим значение коэффициента интенсивности деформаций $k_u = 0,66$, учитывающего современное геотехническое состояние породного массива – снижение прочности и увеличение напряженного состояния пород из-за техногенной нарушенности и суммарного влияния очистных и подготовительных работ на участок эксплуатационного горизонта. Тогда показатель условий разработки для шахты имени Героев космоса на современном этапе эксплуатации будет равен $\theta = 0,41$.

Выводы

Установлено, что увеличение площади поперечного сечения капитальных выработок на шахте имени Героев космоса за последние 30 лет от $S_{св} = 12,7 \text{ м}^2$ до $S_{св} = 17,7 \text{ м}^2$ вызвало рост смещений породного контура на величину $k_s = 1,175$, что необходимо учитывать при проектировании конструкции крепи и технологии ведения горнопроходческих работ.

Получено значение коэффициента интенсивности деформаций $k_u = 0,66$, что позволило оценить современное геотехническое состояние породного массива – снижение его прочности и увеличение напряженного состояния пород из-за техногенной нарушенности и суммарного влияния очистных и горноподготовительных работ на участок эксплуатационного горизонта.

Показано, что показатель условий разработки для шахты им. Героев космоса на современном этапе эксплуатации равен $\theta = 0,41$ (определенный без учета коэффициента k_u $\theta = 0,62$), что подчеркивает степень сложности условий эксплуатации комплекса очистных и подготовительных выработок и позволяет более обоснованно подойти к выбору эффективных решений для обеспечения надежной и безопасной их работы, снижения объемов ремонтных работ в течение срока их службы.

Список литературы

1. Выгодин М.А., Евтушенко В.В. Пучение пород почвы в выработках шахт Западного Донбасса // Уголь Украины. – 1987. - № 7. – С. 12-13.
2. Методы повышения устойчивости горных выработок на шахтах Западного Донбасса / Выгодин М.А., Евтушенко В.В. // Шахтное строительство. – 1989. – № 5. – С. 11-14.
3. Усаченко Б.М. Свойства пород и устойчивость горных выработок. – Киев: Наук. думка, 1979. – 136 с.
4. Стыцин В.И. Изучение проявлений горного давления в основных горных выработках шахт Западного Донбасса с целью выбора рациональных параметров крепей. Дис... канд. техн. наук. – Днепропетровск, 1972. – 143.
5. Халимендик Ю.М., Чемакин В.А., Спицын А.Ю. Совершенствование крепей горных выработок в слабометаморфизированных породах Западного Донбасса // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 1997. – № 3. – С. 96-98.
6. Шашенко А.Н., Тулуб С.Б., Сдвижкова Е.А. Некоторые задачи статистической геомеханики. – К.: Універ. вид-во “Пульсари”, 2002. – 304 с.
7. СНИП II-94-80. Подземные горные выработки. Нормы проектирования. – М.: Стройиздат, 1982. – 272 с.
8. Солодянкин А.В., Мартовицкий А.В., Смирнов А.В. Оценка геомеханических условий и состояния протяженных горных выработок шахт ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» // Инженерный вестник Дона, – 2015. – №2, ч.2. ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2p2y2015/2923
9. Рева В.Н., Мельников О.И., Райский В.В. Поддержание горных выработок. – М.: Недра, 1995. – 270 с.
10. Пиньковский Г.С., Безазьян А.В. Определение прочностных характеристик горных пород при естественной влажности // Уголь Украины. – 1979. – № 8. – С. 21-22.
11. Ким Д.Н. Исследование структурного ослабления трещиноватых пород моделированием прочностных свойств в лабораторных условиях // Вопросы исследования горного давления и сдвига пород. – Свердловск: ИГД АН СССР, 1963. – Вып. 5. – С. 97-105.
12. Состояние и перспективы решения проблемы горных ударов на рудниках Дальнего Востока / И.Ю. Рассказов, Г.А. Курсакин, П.А. Аникин, А.М. Гулевич, Г.М. Потапчук //

Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. – № 12. – С. 433-444.

13. Инструкция по применению систем разработки на Старобинском месторождении. – Солигорск-Минск, 2010. – 152 с.

14. Разработка типовых материалов для проектирования крепи магистральных выработок, обеспечивающих их безремонтное поддержание: Отчет о НИР. Науч. рук. А.Н. Шашенко. – Днепропетровск: НГУ, 2012. – 377 с.

15. Прушак В.Я. Закономерности взаимного влияния горных выработок на глубоких горизонтах Старобинского месторождения калийных солей // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя фізіка-тэхнічных навук. – 2015. – № 4. – С. 41-45.

16. Соловьев В.А., Аптуков В.Н., Ваулина И.Б. Поддержание выработок в соляных породах // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № 2. – С. 344-356.

17. Мисников А.В. Прогноз и обеспечение устойчивости капитальных выработок калийных рудников в мелкослоистых породах на больших глубинах: автореф. дис.... канд. техн. наук / В.А. Мисников. – Солигорск, 1991. – 17 с.

18. Солодянкин А.В. Геомеханические модели в системе геомониторинга глубоких угольных шахт и способы обеспечения устойчивости выработок. Дис. ... д-ра техн. наук: 05.15.04., 05.15.09. Дніпропетровськ. – 2009. – 426 с.

19. Шашенко О.М., Солодянкін О.В., Мартовицький А.В. Управління стійкістю протяжних виробок глибоких шахт. - Дніпропетровськ: ЛізуновПрес, 2012. – 384 с.