

УДК 622.272.5.6

© Ю.И. Демченко, В.А. Соцков, А.Р. Мамайкин, В.Э. Дытюк

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВОДОНОСНЫХ ПОРОД НА ПАРАМЕТРЫ ГИДРОЗАЩИТЫ ОЧИСТНЫХ ВЫРАБОТОК

© Yu. Demchenko, V. Sotskov, A. Mamaikin, V. Dytiuk

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF WATER BREEDS ON THE PARAMETERS OF HYDRAULIC PROTECTION OF EXTRACTION DEVELOPMENTS

Представлено решение задачи детализации учета и использования физико-механических свойств водоносных пород и разделяющих слоев при определении параметров гидрозащиты горных выработок для наиболее сложного сочетания «водоносный пливун – слоистая толща карбона – очистная выработка». Это соответствует горногеологическим условиям очистных работ по пласту С₈ на шахте «Терновская».

Представлено вирішення завдання деталізації обліку та використання фізико-механічних властивостей водоносних порід і шарів, що їх розділяють, при визначенні параметрів гідрозахисту гірничих виробок для найбільш складного поєднання «водоносний пливун – шарувата товща карбону – очисна виробка». Це відповідає гірничо-геологічним умовам очисних робіт по пласту С₈ на шахті «Тернівська».

Введение. Отработка пласта С₈ на шахте "Терновская" в Западном Донбасе за пределами установленной нормативами границы безопасного ведения работ под пливуном впервые осуществлена в 832-й экспериментальной лаве по специальному проекту [1, 2]. Этому предшествовали экспериментальные работы, проведенные Национальным горным университетом над отработываемым пространством 802-й лавы [3]. В результате установлено, что развитие нормальносекущих трещин не распространяется выше зоны, соответствующей 11 кратностям вынимаемого пласта [4]. Вынос фракций бучакского песка в рабочее пространство лавы не отмечался при кратности подработки 8 *m* (где *m* - вынимаемая мощность пласта). В дальнейшем горными работами по пласту С₈ велась подработка бучакского водоносного горизонта с уменьшением мощности водозащитного слоя до 14,8 кратностей вынимаемого пласта (нормативная кратность составляет 20 *m*) [5]. Подход горных работ к границе, ограниченной 20-метрами аргиллито-алевролитовой толщи намечался в 828 лаве. В реальных условиях это соответствовало кратности подработки 12 *m*.

Постановка задачи. Для установления возможности отработки пласта С₈ с указанной величиной разделяющей толщи пород были проведены дополнительные исследования механизма формирования ее защитных свойств на математических моделях.

При оценке влияния трения по контакту карбон-бучак на напряженно-

деформированное состояние горного массива использовалась численная геомеханическая модель на базе программно-алгоритмического комплекса "Геомеханика". Численная модель отражала горно-геологические условия отработки пласта С₈ шахтой "Терновская" в пределах участка с 20-метровой мощностью защитного междупластья. Вынимаемая мощность угольного пласта принята равной 1,8 м.

Изложение основного материала. Структура численной модели представлена 538 элементами и 320 узлами, аппроксимирующими моделируемую область. В численной дискретизации предусмотрены три контактные плоскости, учитывающие ослабленные зоны на границе смены литологического состава горных пород (см. рис. 1). Физико-механические свойства горных пород по типам элементов приняты на основании разведки шахтного поля и представлены следующими величинами (табл.1).

Таблица 1

Свойства горных пород

Литологическая разность	Плотность г/см ³	Модуль дефор- мации, кг/см ²	Удельное сцепление,	Угол внутр. трения, гр
Песок (Рьс)	1,80	3000,0	0,02	24,0
Песчаник	2,10	130000,0	278,00	23,0
Алевролит	2,33	110000,0	280,60	22,0
Аргиллит	2,26	35000,0	165,00	22,0
Уголь	1,24	2000000,0	164,40	53,5

Удельное сцепление и угол внутреннего трения в пределах контактных плоскостей составили соответственно 12 МПа и 20 градусов.

Решение поставленной задачи выполнено при проведении сопоставительной оценки деформированного состояния породного массива по трем вариантам:

1 - кровля водозащитной толщи карбона контактирует с бучакским песком (т.е вариант соответствует понятию "водный объект");

2 - кровля карбона свободна от трения;

3 - кровля карбона контактирует с бучакским песком, на контуре забоя задано образование вывала на высоту до 0,6 м.

При рассмотрении второго варианта задачи влияние веса мезо-кайнозойских отложений заменялось равнодействующим нормальным давлением в виде сосредоточенных сил в узловых точках по верхнему контуру каменноугольной толщи.

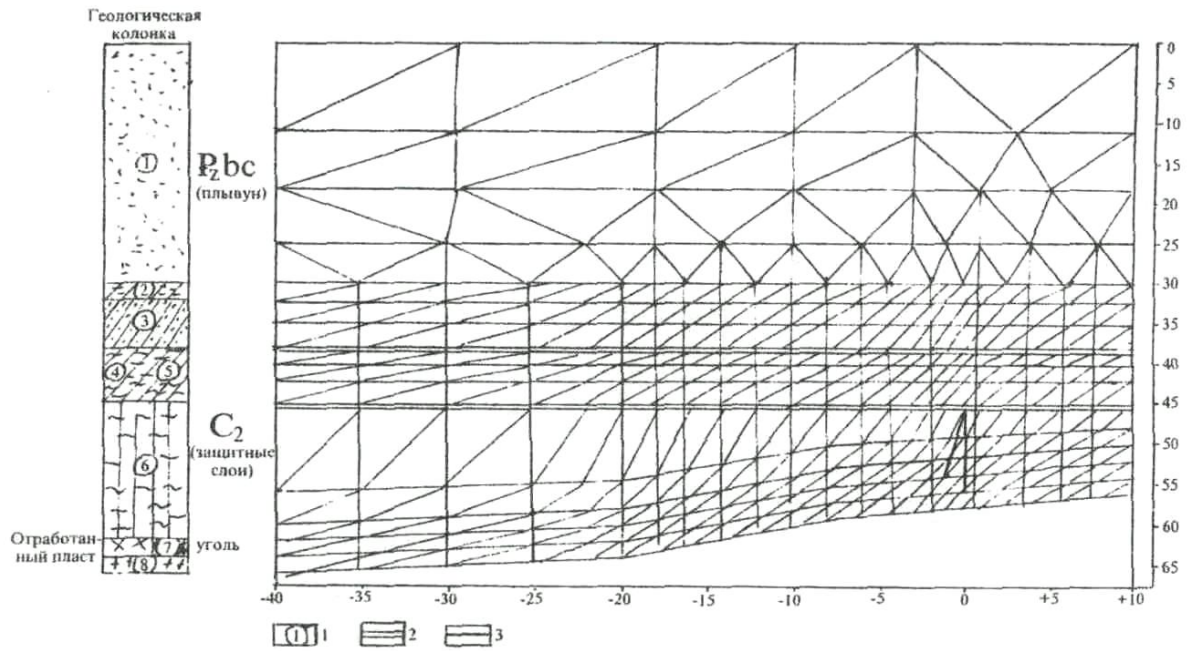


Рис. 1. Схема численной дискретизации моделируемой области:
 1 - номер типа горных пород по механическим свойствам;
 2 - контактная плоскость; - контур вывала.

Во всех вариантах предусматривалась полная подработка породного массива с учетом разрыхления горных пород в пределах зоны обрушения.

Анализ результатов численных решений показал, что влияние трения наиболее важно в пределах толщи пород, находящихся в непосредственной близости от контакта бучак-карбон. Причем, в зоне наибольших растягивающих горизонтальных деформаций при наличии трения величины деформаций снижаются на 20 – 25% (на высоте 11 – 13 м) от кровли угольного пласта. При приближении к отрабатываемому угольному пласту соответствующие деформации остаются неизменными (рис. 2).

Наличие вывала в третьем варианте решения способствовало росту горизонтальных деформаций в средней части водозащитной толщи (на высоте 8,5-11,5 м). На верхнем и нижнем контурах увеличения деформаций растяжения не отмечено.

Для оценки возникающих в подрабатываемом горном массиве гидрогеомеханических изменений при различных направлениях отработки выемочных столбов исследовалось распределение напряжений у верхней и нижней заделок породных слоев. Предполагалось, что развитие дополнительных сжимающих напряжений в нижней части и дополнительных растягивающих в верхней способствует росту проницаемости массива при отработке пластов угля по восставанию, а интенсивность водопроводящего трещинообразования уменьшается при отработке выемочных столбов по падению. Эта предпосылка поясняет влияние гравитационной составляющей (сил собственного веса) на водозащитные функции подрабатываемого горного массива.

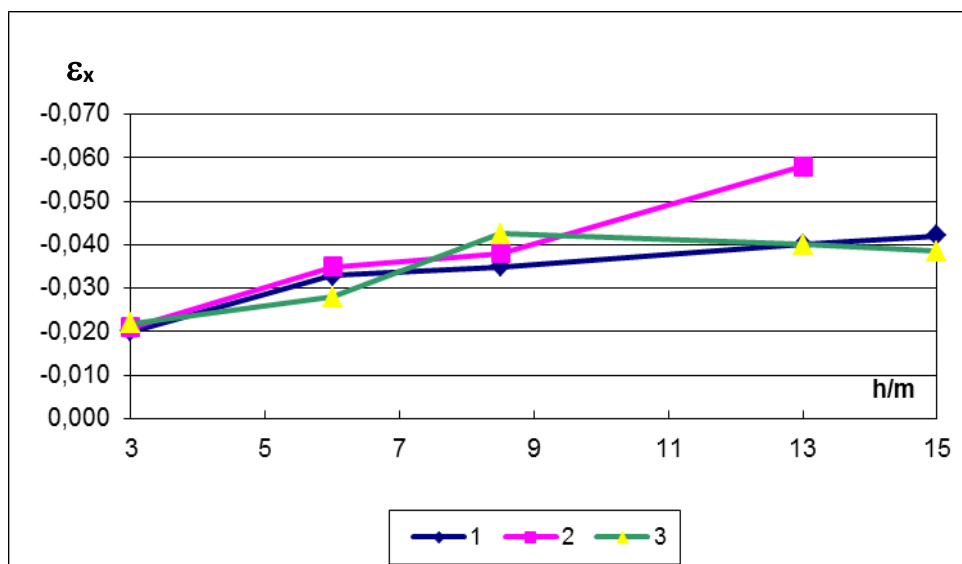


Рис. 2. Зависимость деформаций растяжения ε_x от кратности подработки h/m : 1,2,3- соответственно варианты решений T .

Расчетами на описанной математической модели с применением ПЭВМ установлено, что уровень относительных деформаций параллельно напластованию, определяющий трещинное разрыхление породной толщи, возрастает при отработке выемочных столбов по восстанию. В исследованном интервале углов залегания ($0-15^\circ$) интенсификация деформаций растяжения имеет вид степенной функции, близкой к квадратичной. Разброс анализируемых значений обусловлен различной мощностью отдельных слоев в кровле пласта и их неодинаковыми физико-механическими свойствами. При отработке по падению отмечается снижение растягивающих деформаций, что связано со сжимающим действием сил веса породной толщи, вектор смещается в направлении поворота оси породных слоев при обрушении кровли обрабатываемого пласта.

Установленные закономерности позволяют рассматривать изменение направления отработки выемочных столбов как технический фактор, определяющий условия формирования водозащитных свойств обрабатываемых пород. Учитывая величину преимущественного угла залегания слоев углевмещающей толщи Западного Донбасса, равную 3° , можно оценить достигаемый изменением направления отработки эффект. При такой величине среднестатистические значения деформаций растяжения для выемки по восстанию и падению согласно численному моделированию составляют соответственно 0,003 и 0,002, т.е. обеспечивается снижение уровня водопроводящего трещинного разрыхления над контуром очистного забоя более чем на 30%. Расчетная величина снижения уровня проницаемости хорошо согласуется с данными о фактическом изменении водопритоков в выработанное пространство 834-й лавы шахты "Терновская" при отработке пласта C_8^H по падению.

Снижение максимальных водопритоков по отношению к величине, зафиксированной в 802-й лаве, отрабатывающей этот же пласт по восстанию, составило до $30 \text{ м}^3/\text{ч}$, т.е. уменьшился приток с 90 до $60 \text{ м}^3/\text{ч}$. При отработке пласта C_8^H в зону дренирования вовлекался слой песчаника мощностью $1,5-6$ м. Вынимаемая мощность пласта составляла $1,75-2$ м, мощность междупластья, представленного переслаиванием слабопроницаемых слоев аргиллита и алевролита колебалась в пределах $9-10$ м. Взаимного гидродинамического влияния лав не наблюдалось.

Применение рассмотренной схемы отработки целесообразно в том случае, когда в пределах непосредственной кровли вынимаемого пласта отсутствуют водоносные породы. Отвод поступающей из выработанного пространства воды может осуществляться сбросом ее на ранее отработанные горизонты с помощью дренажных скважин. При углах залегания угольных пластов $3-5^\circ$ в коротких лавках достигается безопасное отставание контура формирующегося стока от очистного забоя, а часто за счет рассмотренных эффектов снижения проницаемости водоприток формируется только в фазе первого цикла посадки основной кровли.

Отметим, что ранее были рассмотрены эффекты повышения водозащитных свойств предварительно расслоенных пород за счет восходящего порядка отработки пластов.

Вторым видом модели, которая была применена для исследований на площади подготовки 828-й лавы была выбрана трехслойная гидродинамическая модель. Первый слой - объединяет водоносные горизонты мезокайнозоя. Второй слой - водоносный песчаник, залегающий в основной кровле пласта C_8 и гидравлически связанный с водоносными горизонтами покровных отложений. Средняя мощность песчаника составляет 10 м, изменяясь в пределах экспериментального участка от 1 до 21 м. Третий слой - угольный пласт C_8 , также имеющий гидравлическую связь с водоносными породами мезокайнозоя.

Важно отметить, что гидродинамические модели позволяют (на этапе их идентификации при решении обратных задач) весьма точно оценить фильтрационные свойства горных пород нарушаемых горными работами. Известные экспериментальные методы, используемые для этих целей, являются неточными и дорогостоящими.

В качестве исходных гидродинамических параметров были приняты: для первого водоносного слоя: $km-150 \text{ м}^2/\text{сут}$; $\mu=0,1$; для второго водоносного слоя km (водопроницаемость) $= 0,5-10 \text{ м}^2/\text{сут}$; μ (водоотдача) $=0,01$; для третьего водоносного слоя: $km = 0,5-2 \text{ м}^2/\text{сут}$; $\mu = 0,01$. Величина фильтрационного сопротивления слабопроницаемых слоев изменилась в пределах $10^{-4} - 10^{-6} \text{ 1/сут}$, что обусловлено изменением их мощности в пределах изучаемого участка пласта C_8 .

Главная цель при решении обратной гидродинамической задачи состояла в уточнении водопроницающих свойств водоносных песчаников и слабопрони-

цаемых отложений, нарушаемых в результате их подработки. Для этого задавался широкий диапазон изменения водопроводимости и фильтрационного сопротивления описываемых моделируемых слоев. Оказалось, что наибольшей достоверностью (средняя погрешность в оценке водопритоков не более 10%) отличается гидродинамическая модель, в которой фильтрационное сопротивление слабопроводящей толщи в кровле угольного пласта уменьшается в 50 раз, а водопроводимость подрабатываемого песчаника - в 20 раз. Для этого случая эпигнозные водопритоки по участку пласта C_8 приведены в таблицу 2.

Полученный результат имеет важный смысл с точки зрения оценки динамики изменения водозащитных свойств пород: водоносный песчаник контактирует с пльвуном в ненарушенных условиях и увеличивает проницаемость в 2,5 раза менее интенсивно, чем водоупорные аргиллиты и алевролиты.

Таблица 2

Эпигнозные водопритоки по участку пласта C_8

Год	Фактический водоприток, м ³ /ч	Модельный водоприток, м ³ /ч	Абсолютная погрешность	Относительная погрешность
1	82,9	81,3	1,6	2
2	101,3	104,0	2,7	3
3	137,3	113,2	23	18
4	137,9	121,0	17	13
5	158,6	124,3	34	22
6	147,8	135,4	12,5	8
7	144,8	142,5	2,3	2
8	142,2	148,0	5,8	4
9	170,8	153,0	17,8	11
10	160,2	151,1	9,1	6
11	134,4	155,0	19,4	12

Расчет притоков через полость прорыва моделировался областью бесконечного фильтрационного сопротивления в основной кровле отрабатываемого угольного пласта. "Бесконечность" фильтрационного сопротивления лимитировалась минимальной величиной коэффициента фильтрации слабопроницаемой толщи, равной 0,01 м/сут в связи с необходимостью сохранения предпосылки Мятиева-Гиринского (движение воды в слабопроницаемых слоях перпендикулярно напластованию).

По этой схеме, десятикратное увеличение коэффициента фильтрации подугольной толщи при подработке составляет верхний предел сохранения предпосылки Мятиева-Гиринского. Поэтому полость прорыва моделировалась по схеме однослойного пласта с бесконечной водопроницаемостью (в расчет принималась величина $10000 \text{ м}^2/\text{сут}$) с перепадом уровней, соответствующим разности между уровнем подземных вод покровной толщи и уровнем подземных вод продуктивной толщи (по подошве отрабатываемого угольного пласта). С учетом принятых предпосылок получено, что величина притока воды в полости прорыва размером $2 \times 0,01 \text{ м}$ составляет до $10 \text{ м}^3/\text{ч}$ и мало изменяется при максимальном размере полости прорыва равной $10 \times 0,01 \text{ м}$.

Работа выполнена в рамках научной тематики ГП-497 «Ресурсосберегающая геотехнологическая и гидродинамическая параметризация добычи мало-мощных запасов минерального сырья в техногенно нагруженной среде», которая финансируется за счет государственного бюджета Украины.

Выводы. При подработке контакта рыхлых и углевмещающих пород в зоне наибольших растягивающих горизонтальных напряжений за счет внутреннего трения величины указанных деформаций снижаются на 20 – 25 % на высоте кратной 11 – 13 выемочным мощностям угольного пласта. При углах залегания пластов до 15° водозащитные свойства подрабатываемой толщи уменьшаются при отработке выемочных столбов по восстанию, при этом трещинное разрыхление количественно подтверждается уменьшением горизонтальных деформаций на 0,002 – 0,003. Эти параметры служат основанием для перемещения границы безопасного ведения горных работ и повышения полноты выемки запасов угля.

Перечень ссылок

1. Sotskov V. & Saleev I. (2013). Investigation of the rock massif stress strain state in conditions of the drainage drift overworking. *Mining of mineral deposits.–The Netherlands: CRC Press/Balkema.*, 197 – 201.
2. Bondarenko V., Hardygora M., Symanovych H., Sotskov V. & Snihur V. (2016). Numerical methods of geomechanics tasks solution during coal deposits' development. *Mining of Mineral Deposits*, 10(3), 1 – 12.
3. Sotskov V. & Gusev O. (2014). Features of using numerical experiment to analyze the stability of development workings. *Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining. The Netherlands: CRC Press/Balkema*, 401 – 404.
4. Fomichov V., Sotskov V. & Malykhin A. (2014). Determination and analysis of the acceptable benchmark changes of the stress strain state of frame and anchor fastening elements of dismantling drift when approaching a working face. *Scientific Bulletin of National Mining University* . Issue 1, 22 – 26.
5. Sotskov V.O., Demchenko Yu. I., Salli S.V. & Dereviahina N.I. (2017). Optimization of parameters of overworked mining gallery support while carrying out long-wall face workings. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universyte*, (6), 34 – 40.

ABSTRACT

Purpose. Determination of a new safe level of protective properties of rocks in the Western Donbass during the mining of coal seams under quicksand.

The methods. A numerical model has been developed that takes into account weakened zones at the boundary of lithological changes in rocks.

Findings. As a result of the analysis the parameters for the movement of the boundary for safe mining and the completeness of the extraction of coal reserves have been determined.

The originality. For the first time, the physico-mechanical properties of water-bearing rocks and separating layers were used in determining the parameters of hydroprotection of mine workings.

Practical implications. The established regularities make it possible to consider the change in the direction of mining of the pit poles as a technical factor determining the conditions for the formation of waterproof properties of the mined rocks.

Keywords: *technogenic loading, hydroprotection, mining, filtration*

УДК 622.278.273.2

© Р.О. Дичковський, М.М. Табаченко, Edgar Cáceres Cabana

ГЕОЕНЕРГЕТИКА: РЕТРОСПЕКТИВА І ПЕРСПЕКТИВА

© R. Dychkovskiy, M. Tabachenko, Edgar Cáceres Cabana

GEO ENERGY: RETROSPECTIVE AND PERSPECTIVE

Розглянуто недалеке минуле, сучасний стан та перспективи розвитку енергетики в Україні в рамках загальносвітових тенденцій формування енергопостачання на основі традиційних та альтернативних джерел. Авторами запропоновано напрямки зміни вуглевидобування та вуглекористання на основі традиційних та радикальних технологій. Розглянуто можливості застосування систем когенерації від різних енергетичних джерел. Основним напрямом енергетичного удосконалення має стати формування нових принципів створення енергетичних джерел причому це має відбуватися із урахуванням екологічної компоненти та економічної доцільності. Кожне рішення пов'язане із вуглевидобутком та його переробкою має бути комплексним і максимально поєднаним із іншими джерелами.

Рассмотрены недалекое прошлое, современное состояние и перспективы развития энергетики в Украине в рамках общемировых тенденций формирования энергоснабжения на основе традиционных и альтернативных источников. Авторами предложены направления изменения угледобычи и углеиспользования на основе традиционных и радикальных технологий. Рассмотрено возможности применения систем когенерации от различных энергетических источников. Основным направлением энергетического совершенствования должно стать формирование новых принципов создания энергетических источников причем это должно