

В.В. Лукинов, А.П. Клец, А.В. Приходченко, А.А. Тихонов

ДАВЛЕНИЕ ФЛЮИДОВ И ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ В ПОДРАБОТАННОМ УГЛЕПОРОДНОМ МАССИВЕ

V.V. Lukinov, A.P. Klets, A.V. Prikhodchenko, A.A. Tikhonov

PRESSURE OF FLUIDS AND ESTIMATION OF INTEGRAL PERMEABILITY CHANGE WITHIN THE UNDERMINING COAL ROCK MASSIVE

Исследовано влияние горных работ на изменение давления в углепородном массиве путем применения двух методов: первый – линейное понижение давления от максимальных значений в начале зоны влияния подработки до атмосферного, в горной выработке и второй – основанный на определении уровня воды в скважине. Установлено, что проницаемость после подработки массива возрастает и может достигать $300\text{--}400 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$.

Ключевые слова: *давление, подработанный углепородный массив, интегральная проницаемость, песчаник*

В настоящее время на шахтах Донбасса ведутся работы по извлечению метана из толщи пород, подработанной при выемке угольного пласта. Установлено, что максимальные объемы метана удается каптировать скважинами, пробуренными в массиве, подработанным при выемке угля.

После отработки угольных пластов происходит естественное проседание пород кровли, разуплотнение их, выделение свободного и десорбированного газа в горные выработки, а также в трещиноватые зоны углепородного массива, формируя в них техногенные скопления метана.

Исследователями выделено 4 основные зоны в подрабатываемой углепородной толще [1]: зона I – беспорядочного обрушения горных пород; зона II – упорядоченного обрушения и проседания горных пород; зона III – разуплотнения горных пород, активных трещин расслоения, секущих вертикальных; зона IV – зарождения трещин расслоения и секущих трещин.

После разуплотнения подработанной углепородной толщи и частичного выхода метана происходит понижение давления газа в массиве и изменяется проницаемость. После проседания пород кровли наибольший приток газа в лаву будет из I и II зон за счёт его выделения из разрушенных, разрыхленных и расчленённых на блоки пород. Зона III, после формирования зон I и II, вначале прогибается, и лишь затем в ней формируются трещины. Зона IV является зоной аккумуляции газа, и её формирование по времени происходит позже. До настоящего времени недостаточно изучено изменение давления газа в углепородной толще после подработки. Давление в подработанном массиве может быть опре-

делено прямыми замерах пластоиспытателей при бурении скважин на выработанном пространстве, однако такие замеры на практике выполняются очень редко и данных для статистической обработки и выведения зависимостей по изменению давления недостаточно. Исследователями ИПКОН АН СССР [2] установлена логарифмическая зависимость давления в подработанном массиве от расстояния между обрабатываемым и дегазируемым пластом M , однако данный способ не учитывает глубины залегания отработанного угольного пласта.

Для решения задачи по определению изменения давления газа в подработанной углепородной толще нами предложен метод, основанный на исследованиях, указанных в работе [3]. Сущность метода заключается в следующем: по замерам давления газа в подработанной углепородной толще, полученным при бурении скважин МТ-347 на поле шахты им. А.Ф. Засядько и скважины 776-Т на поле шахты Чайкино-Глубокая была предположена линейная зависимость понижения давления газа при приближении к отработанному угольному пласту.

Известно, что давление газа в нетронутых горными работами углепородном массиве $P_{мг}$ (Па), по данным, приведенным в [4], составляет 80–90% от гидростатического и, для прогноза, может быть определено по формуле:

$$P_{мг} = 0,85 \cdot \gamma_e \cdot H \cdot g,$$

где γ_e – плотность воды, равная 1000 кг/м^3 ; H – глубина залегания пласта песчаника, м; g – ускорение свободного падения, м/с^2 .

После подработки углепородной толщи часть метана дренирует в горные выработки, а часть метана остается в выработанном пространстве, что приводит к изменению давления в подработанной углепородной толще. Как показано в работе [3], существует тенденция увеличения давления флюидов, насыщающих песчаники, вверх по разрезу от отработанного ранее угольного пласта. У верхней границы зоны подработки, давление газа в толще пород должно составлять 80–90% от гидростатического, а по мере приближения к отработанному угольному пласту давление понижается вплоть до атмосферного на границе с горной выработкой.

Определение отметки границы зоны подработки на расстоянии от кровли отработанного угольного пласта по нормали в направлении пород кровли выполнено методом, предложенным в СОУ [5].

Расчет высоты подработанной углепородной толщи, расположенной над отработанным пластом n_1 , был выполнен по данным геологического разреза скважины Д-5, расположенной на поле шахты им. А.Ф. Засядько. Поскольку в отработанной лаве способ управления кровлей – полное обрушение пород, коэффициент $k_{yn} = 1$. Вынимаемая мощность отработанного угольного пласта n_1 равна 1,5 м. Выход летучих веществ угля для данного пласта – 40,6%. Исходя из этих данных расчетное расстояние, на которое воздействует подработка, составляет: для песчаников 97 м, для угольных пластов и пропластков – 170 м.

По приведенным расчетам был построен график изменения давлений в углепородном массиве до расчетной границы разуплотнения и после нее до отработанного угольного пласта (рис. 1).

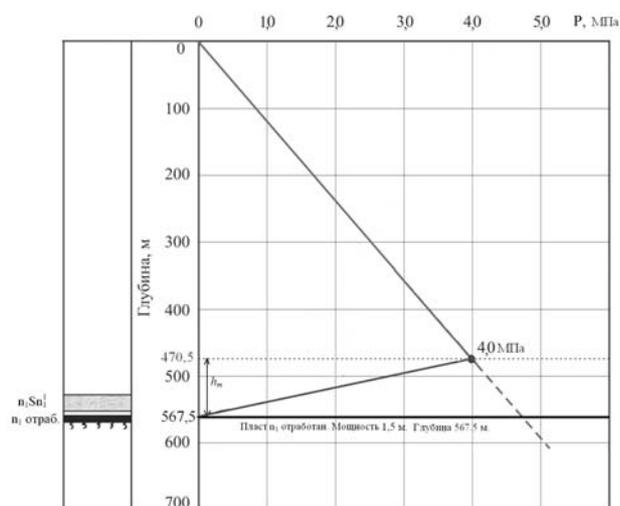


Рис. 1. Изменения давления газа в углепородной толще до и после подработки на примере скважины Д-5, пробуренной на участке Кальмиуский Рудник поля шахты им. А.Ф. Засядько

По приведенным выше расчетам установлено, что глубина начала подработанной углепородной толщи в районе скважины Д-5 составляет 470,5 м. До этой отметки происходит повышение давления в углепород-

ной толще и на этой отметке составляет $P_{пл} = 4$ МПа. Далее происходит понижение давления газа. Зависимость изменения давления в подработанном массиве $P_{н.м}$ вверх по нормали от отработанного угольного пласта можно выразить как:

$$P_{н.м.} = a(h),$$

где h – расстояние по нормали от подошвы отработанного угольного пласта до песчаника, в котором определяется давление.

Коэффициент a определяется для каждой скважины и зависит от высоты подработанного углепородного массива и пластового давления в зоне начала разуплотнения толщи:

$$a = \frac{P_{пл.м.}}{h_m}, \quad (1)$$

где $P_{пл.м.}$ – пластовое давление в зоне начала разуплотнения подработанной углепородной толщи.

Изменение давления в разуплотненном углепородном массиве над отработанным пластом n_1 в районе скважины Д-5 отображается зависимостью:

$$P_{н.м.} = 0,32 \cdot h \cdot \gamma_e \cdot g. \quad (2)$$

Полученное уравнение позволяет рассчитывать давление газа в подработанной толще, а также, с учетом ранее проведенных исследований [6] проследить изменение проницаемости массива.

Откорректированная зависимость между значениями коэффициента эффективной пористости $k_{э.п}$ и коэффициента газопроницаемости $k_{пр}$ согласно [6] имеет вид:

$$k_{пр} = e^{k_{э.п} - 5}.$$

По данным анализа результатов определения коллекторских свойств песчаников разгруженных горными выработками [6], существенного изменения газопроницаемости за счет разуплотнения песчаников (без трещин) не происходит. Изменение проницаемости в основном вызвано трещинами (трещинной пустотностью $k_{э.т}$). Эффективная пористость песчаника $k_{э.п}$ и эффективная трещинная пустотность $k_{э.т}$ создают интегральную эффективную пустотность $k_{и.э.п}$:

$$k_{и.э.п} = k_{э.п} + k_{э.т}.$$

Увеличение пустотности подработанного углепородного массива приводит к уменьшению давления газа в нем. Исходя из расчетов приведенных в работе [6] интегральную эффективную пустотность $k_{и.э.п}$ можно выразить как отношение давления в ненарушенном массиве $P_{пл}$ к давлению в разуплотненном $P_{н.м}$, умноженное на коэффициент эффективной пористости $k_{э.п}$:

$$k_{и.э.п} = \frac{P_{пл} \cdot k_{э.п}}{P_{н.м}}. \quad (3)$$

Таким образом, если определить давление газа в подработанном массиве согласно формул (1)–(2) и, зная эффективную пористость песчаника, залегаю-

щего над отработанным угольным пластом, можно рассчитать коэффициент интегральной пустотности и интегральной проницаемости подработанного углеродного массива.

Расчет изменения коэффициента интегральной эффективной пустотности с глубиной выполнен для скважины Д-5, пробуренной на участке Кальмиуский Рудник поля шахты имени А.Ф. Засядько (рис.2). Подошва отработанного пласта n_1 расположена на глубине 567,5 м. Высота зоны подработки для песчаников составляет 97 м. В этом интервале над отработанным пластом расположен песчаник $n_1Sn_1^1$ мощностью 19,6 м при глубине залегания 560,7 м. Коэффициент эффективной пористости 3,6%.

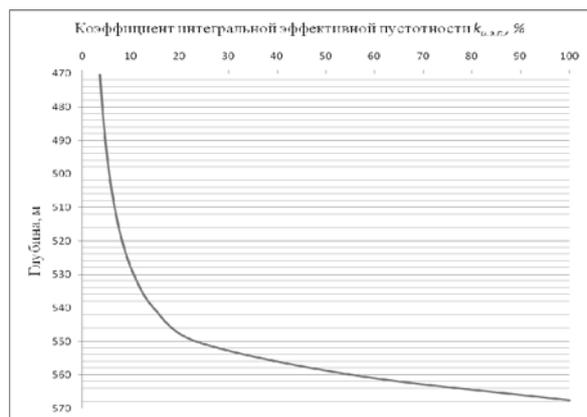


Рис. 2. Изменение коэффициента интегральной эффективной пустотности с глубиной для песчаников нарушенного углеродного массива над отработанным пластом n_1 в районе скважины Д-5, пробуренной на участке Кальмиуский Рудник поля шахты им. А.Ф.Засядько

Исходя из полученных значений коэффициента интегральной эффективной пустотности по формуле (3) был выполнен расчет значений коэффициента проницаемости для подработанного массива. Полученные результаты представлены в виде графика (рис.3).

Из полученных результатов видно, что с глубины 520 м начинается стремительное возрастание интегральной проницаемости и достигает $300-400 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$. Данные результаты подтверждены тем, что при бурении скважины Д-5 с глубины 525 м по керну была выделена трещиноватость пород, с глубины 510 м началось нарастающее поглощение промывочной жидкости, а начиная с отметки 540 м полное поглощение. То есть, приблизительно с середины интервала разуплотнения значение проницаемости возрастает до очень больших значений и массив становится легкопроницаемым для газа, что позволяет предположить, что газ из этой зоны поступает в горную выработку.

Следует отметить, что приведенный выше метод определения давления флюидов в подработанной углеродной толще справедлив для случая, когда давление газа у подошвы отработанного пласта составляет 0,1 МПа, то есть в течение некоторого периода времени после отработки пласта. В дальнейшем, в

подработанном массиве происходит миграция газа в сторону горной выработки с выравниванием давления в нарушенном трещинами массиве.

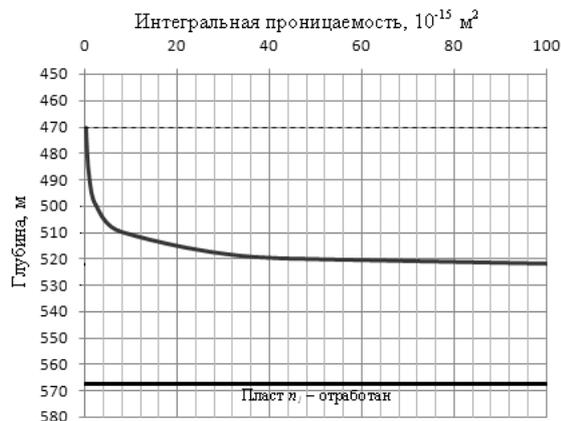


Рис. 3. Изменение интегральной проницаемости с глубиной для песчаников нарушенного углеродного массива над отработанным пластом n_1 в районе скважины Д-5, пробуренной на участке Кальмиуский Рудник поля шахты им. А.Ф. Засядько

Наиболее точным способом проследить изменения давления флюидов в углеродном массиве является определение прямыми замерами пластоиспытателями при бурении скважин, однако такие исследования выполняются достаточно редко. Определение гидростатического давления и статического давления возможно по уровню воды в скважине, пробуренной на подработанном углеродном массиве.

Согласно гидрогеологических наблюдений, по разрезу скважины отмечались статические уровни воды при бурении, а также отметки глубин, на которых проводились замеры.

Статическое давление в скважине по уровню воды $P_{ст.у.}$ (Па) определялось по формуле:

$$P_{ст.у.} = (H - h_{ст.у.}) \cdot \gamma_в \cdot g ,$$

где $h_{ст.у.}$ – статический уровень воды в скважине, м.

Выполнялся расчет гидростатического давления $P_{г.ст.}$ (Па) в скважине для глубин, на которых проводились замеры статических уровней, по формуле:

$$P_{г.ст.} = H \cdot \gamma_в \cdot g ,$$

Далее определялся коэффициент понижения статического давления в скважине ($k_{н.с.д.}$), показывающий относительное изменение давления от гидростатического:

$$k_{н.с.д.} = \frac{P_{ст.у.}}{P_{г.ст.}} .$$

Изменение коэффициента $k_{н.с.д.}$ позволяет точно определить размеры зон подработки и надработки, влияющие на перераспределение метана и дает возможность оценить остаточные ресурсы метана в углеродном массиве. В ненарушенном массиве зна-

чение коэффициента $k_{n.c.д.}$ должно быть близким к 0,8–0,9. В зонах, нарушенных горными выработками значение $k_{n.c.д.}$ будет понижаться.

При бурении скважины Д-5 на отметке 118 м статический уровень воды составил 64 м, гидростатическое давление $P_{z.ст.} = 1,16$ МПа, статическое давление по уровню воды $P_{ст.у.} = 0,63$ МПа, коэффициент понижения статического давления в скважине $k_{n.c.д.} = 0,54$. На отметке 312 м статический уровень воды в скважине – 22 м, $k_{n.c.д.} = 0,93$. К отметке 312 м была перебурена зона газового выветривания, после которой давление в скважине вышло на 93% от гидростатического. При дальнейшем бурении на отметке 346 м статический уровень воды в скважине составил 20 м, $k_{n.c.д.} = 0,94$. Далее, при приближении забоя к отработанному пласту n_1 отмечено понижение статического уровня воды в скважине, который на отметке 445 м составил 228 м. Гидростатическое давление $P_{z.ст.} = 4,36$ МПа, статическое давление по уровню воды $P_{ст.у.} = 2,23$ МПа, коэффициент понижения статического давления в скважине $k_{n.c.д.} = 0,51$. Таким образом, в интервале 346–445 м расположена верхняя

граница влияния зоны подработки углепородной толщи (по расчетам глубина начала влияния зоны подработки песчаников составляет 470,5 м, для углей – 397 м). На отметке 543 м начинается 100% поглощение промывочной жидкости, что указывает на значительную трещиноватость углепородной толщи. После переобуривания отработанного пласта также были зафиксированы зоны трещиноватости. При дальнейшем бурении в зоне подработки, а затем и в зоне надработки коэффициент $k_{n.c.д.}$ оставался близким к 0,5. Так, на отметке 719 м – $k_{n.c.д.} = 0,46$, 740 м – $k_{n.c.д.} = 0,48$. В последующем отмечено повышение статического уровня воды, и на отметке 857 м составило 65 м, гидростатическое давление $P_{z.ст.} = 8,4$ МПа, статическое давление по уровню воды $P_{ст.у.} = 7,92$ МПа, коэффициент понижения уровня воды в скважине $k_{n.c.д.} = 0,94$. Таким образом, была зафиксирована нижняя граница влияния зоны надработки. Далее, при бурении по ненарушенному массиву давление газа составляло 92–94% от гидростатического. По полученным результатам был построен график (рис. 4).

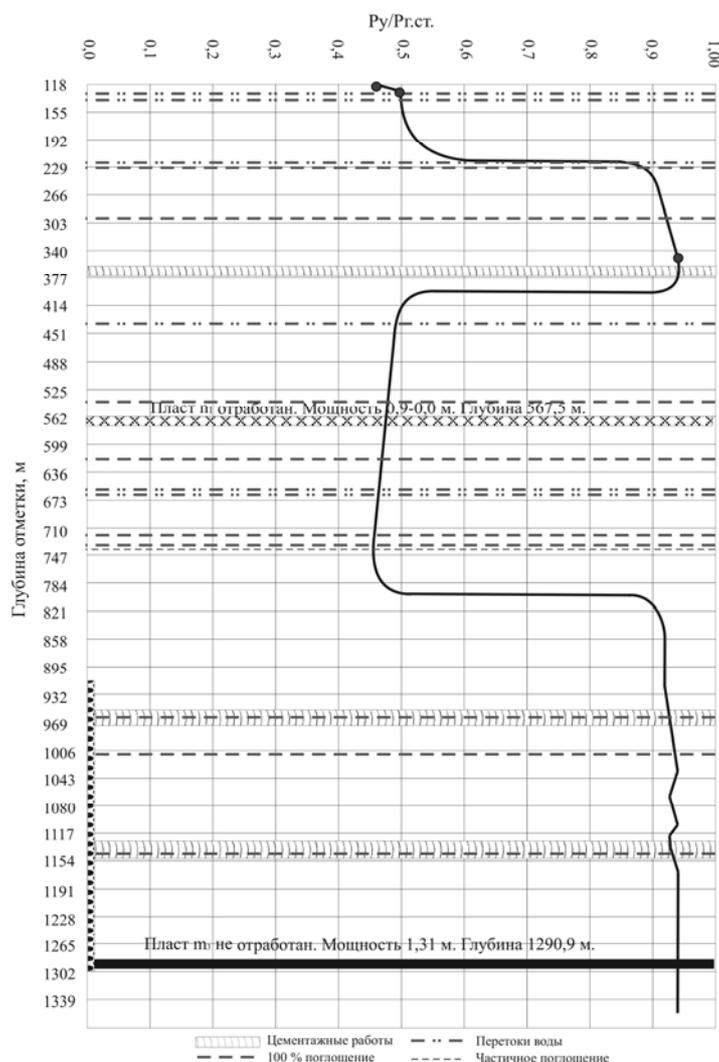


Рис. 4. График относительного изменения давления газа в углепородном массиве по скважине Д-5, пробуренной на участке Кальмиуский Рудник поля шахты им. А.Ф. Засядько

Как видно из графика, при увеличении глубины статическое давление возрастало и к отметке 229 м вышло на значение 0,8–0,9 от гидростатического. Однако с приближением к отработанному пласту n_1 с отметки 414 м началось понижение статического давления и с отметки 451 м его значение стало составлять 0,4–0,5 от гидростатического. Начиная с глубины 747 м началось возрастание давления и на отметке 821 м вышло на значение 0,9 от гидростатического.

Выполненные расчеты позволили определить границы зон подработки и надработки в углепородном массиве, вызванные отработкой пласта. Так, для скважины Д-5 граница зоны подработки расположена в интервале 346–445 м, зоны надработки – 740–857 м. Также в интервале 128–312 м отмечена граница зоны газового выветривания.

Относительные значения давлений в подработанном и надработанном массивах составили 40–50% от гидростатического, то есть в результате разуплотнения горного массива, вызванного отработкой угольного пласта, давление газа понизилось приблизительно в 2 раза.

Список литературы

1. Иофис М.А. Инженерная геомеханика при подземных разработках / М.А. Иофис, А.И. Шмелев. – М.: Недра, 1985. – 248 с.
2. Айруни А.Т. Теория и практика борьбы с рудными газами на больших глубинах. – М.: Наука, 1981. – 335 с.
3. Лукинов В.В. Метан закрытых шахт – проблемы и решения // Геотехн. мех. – 2006. – Вып. 67. – С. 55–67.
4. Забигайло В.Е. Геологические факторы выбросоопасности пород Донбасса / В.Е. Забигайло, Широков А.З. и др. – К.: Наук. думка, 1974. – 270 с.

УДК 551.242

© Черныш О.Г., 2010

О.Г. Черныш

К ВОПРОСУ О ФОРМАЦИОННОЙ ИДЕНТИЧНОСТИ КОМСОМОЛЬСКОГО РУДОПРОЯВЛЕНИЯ

O.G. Chernysh

ON QUESTION ABOUT FORMATION IDENTITY OF KOMSOMOLSK POLYMETALLIC ORE

Приведены краткие результаты минералого-химических исследований Комсомольского полиметаллического рудопроявления. С помощью макроскопических, микроскопических, изотопных методов изучены основные рудные минералы. Определены структуры, текстуры руд, а также порядок кристаллизации рудных минералов, которая происходила в две основные стадии. Установлены низкотемпературные условия образования с преобладанием процессов замещения и перекристаллизации. Сопоставление Комсомольского рудопроявления с аналогичными объектами других регионов позволяет отнести данное рудопроявление к типу стратиформных в карбонатных породах, что свидетельствует о его перспективности.

Ключевые слова: полиметаллическая руда, стратиформное месторождение, элементы примеси, изотопный анализ

Вступление. Стратиформные месторождения свинца и цинка в мире локализуются в мощных толщах до-

5. Техногенні скупчення метану у порушеному вуглепородному масиві. Методика прогнозування зон підвищеної газонасиченості та визначення їх параметрів: СОУ 10.1.05411357.007:2007. – К.: Мінву глепром України, 2007. – 14 с.

6. Фильтрационные параметры коллектора – углепородного массива, подработанного горными выработками В.В. Лукинов, А.П. Клец, В.В. Бобрышев и др. // Геотехн. мех. – 2002. – Вып. 37. – С. 74–79.

Досліджено вплив гірничих робіт на зміну тиску в вуглепородному масиві шляхом застосування двох методів: перший – лінійного пониження тиску від максимальних значень на початку зони впливу розробки до атмосферного, в гірничій виробці, і другий – оснований на визначенні рівня води в свердловині. Встановлено, що проникність після розроблення масиву зростає і може досягати $300\text{--}400 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$.

Ключові слова: тиск, підпрацьований вуглепородний масив, інтегральна проникність, пісковик

Influence of mining operations on change of pressure in undermining coal rock massive have been investigated by application of two methods: first – linear pressure decline from maximal values at the beginning of the affected zone of mine workings to atmospheric at excavation and second – based on definition of water level in an access borehole. It was set that permeability, in undermining massive increases and can arrive at $300\text{--}400 \cdot 10^{-15} \text{ m}^2$.

Keywords: pressure, undermining coal rock massive, integral

Рекомендовано до публікації д.г.н. Л.І. Пімоненко 06.04.10

ломитов и известняков от протерозойского до кайнозойского возраста. Рудоносные карбонатные толщи