

шахтном поле. В последующем планируется построение таких графиков с учетом всех событий, происходящих как в каждой из разрабатываемых лав, так и на ближайших участках.

Из вышеперечисленного можно сделать заключение, что в зонах работы 18 восточной и восточной уклонной лав проводимые на шахте мероприятия по безопасности работ эффективно обеспечивают разгрузку массива от высокого градиента напряжений, предохраняют от сверхкрупных событий, но не могут воспрепятствовать росту общей сейсмологической активности. Это подтверждается также и тем, что за время наблюдений с помощью сейсмоакустической системы не было зарегистрировано ни одного экстремального динамического явления. Однако подобное положение не является устойчивым, для его поддержания необходимо продолжать активное ведение профилактических мероприятий. Графики повторяемости необходимо рассматривать в динамике и комплексно для всего разрабатываемого участка, тогда можно судить об изменении напряженного состояния массива и делать соответствующие выводы относительно правильности проводимых региональных мероприятий по безопасному ведению работ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сейсмоакустическая система контроля напряженно-деформированного состояния массива / А.Ф. Булат, С.Ю. Макеев, А.А. Каргаполов [и др.] // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск – Вып. № 82. – 2009. – С. 3-8.
2. Экспериментальные исследования состояния массива многоканальной сейсмоакустической системой / А.Ф. Булат, С.Ю. Макеев, А.А. Каргаполов [и др.] // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск – Вып. № 85. – 2010 – С. 76-83.
3. Касахара К. Механика землетрясений / К. Касахара. – М.: Мир, 1985. – 264 с.
4. Виноградов С.Д. Экспериментальное изучение сейсмического режима / С.Д. Виноградов, В.С. Пономарев // Природа, 1999. – № 3. – С. 54-63.
5. Цирель С.В. Форма и наклон графиков повторяемости динамических событий как характеристики уровня опасности и соотношения естественной и техногенной составляющих геодинамического процесса / С.В. Цирель, Л.И. Беляева // Горн. инф.-анал. бюл. – 2009. – № 11. – С. 235-240.

**УДК 622.279**

Докт. техн. наук, проф. А.А. Кожевников,  
канд. техн. наук Н.Т. Филимоненко (НГУ),  
канд. геол. наук Н.В. Жикаляк (ДРГП)

#### **ВЫБОР СПОСОБА ПРОМЫВКИ ДЛЯ ВСКРЫТИЯ НИЗКОПОРИСТЫХ ПЕСЧАНИКОВ ПРИ БУРЕНИИ НА ГАЗ-МЕТАН**

Вперше проведена порівняльна ефективність прямого промивання свердловини з виходом промивальної рідини на денну поверхню і місцевого зворотнього промивання при розтині низькопористих пісковиків, як відношення розмірів зон кольматації при даних способах промивання. Аналітично доведено, що зона кольматації при місцевому зворотньому промиванні буде менша, що позитивно позначиться на збереженні колекторних властивостей низькопористих пісковиків при бурінні свердловин на газ-метан.

## CHOICE OF METHOD OF WASHING FOR DISSECTION OF POOR-POROUS SANDSTONES AT DRILLING ON GAS-METHANE

Comparative efficiency of the direct washing of mining hole is first conducted with the output of washing liquid on a daily surface and local back washing at the section of poor-porous sandstones, as a relation of sizes of areas of colmatation at these methods of washing. It is analytically well-proven that the area of colmatation at the local back washing will be less than, that positively will affect maintainance of collector properties of poor-porous sandstones at well-drilling on gas-methane.

Жидкие и газообразные полезные ископаемые, в том числе и газ-метан угольных месторождений, размещаются в горных породах, которые по своим коллекторским свойствам бывают пористого, пористо-трещинного и трещинно-жильного типа. Вскрытие таких пород сопровождается их кольматацией. Размер зоны кольматации зависит от ряда аспектов, среди которых определяющими будут: способ бурения, способ промывки, тип промывочной жидкости, ее параметры и др.

Бурение скважин на газ-метан угольных месторождений в основном осуществляют вращательным, ударно-вращательным и вращательно-ударным способами.

Цель данной работы – аналитический сравнительный анализ размера зон кольматации горных пород, содержащих газ-метан, при бурении скважин с применением различных способов промывки.

Промывка скважин при бурении на газ-метан в Донбассе может осуществляться с выходом и без выхода жидкости на дневную поверхность (рис. 1).

Условия кольматации в представленных пяти способах промывки скважин будут различными. Рассмотрим два полярных способа промывки: прямую с выходом промывочной жидкости на дневную поверхность (рис. 1,а) и обратную местную призабойную без выхода промывочной жидкости на дневную поверхность (рис. 1,д).

В работе [1] «для пластов, представленных песчаниками, глубину проникновения глинистого раствора в пласт рекомендуется рассчитывать по эмпирической формуле С.М. Кулиева и А.Х. Мирзаджанзаде:

$$l = \frac{\sqrt{2} \left[ 3 \frac{159,84(1-m^2)k}{m^3} \right] \sqrt{k/m} (p_z + \Delta p - p_{пл})}{\tau_0},$$

где  $l$  – глубина проникновения раствора в пласт;  $k$  – проницаемость пласта;  $m$  – пористость;  $p_z$  – гидростатическое давление столба жидкости, соответствующее глубине ухода;  $\Delta p$  – гидростатическое сопротивление при движении раствора в скважине;  $p_{пл}$  – пластовое давление;  $\tau_0$  – сопротивление раствора сдвигу».

Обозначив  $A = \sqrt{2} \left[ 3 \frac{159,84(1-m^2)k}{m^3} \right] \sqrt{k/m}$  и  $\Delta P = p_z + \Delta p - p_{nl}$ , получим:

$$l = A\Delta P / \tau_0, \quad (1)$$

где  $\Delta P$  – репрессия на пласт.

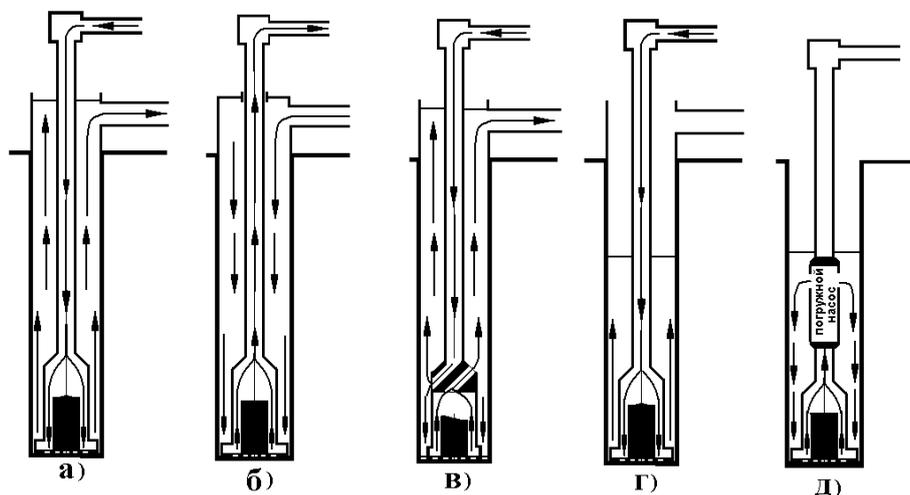


Рис. 1 – Способы промывки скважин при бурении на газ-метан угольных месторождений:

прямая по всей длине ствола скважины (а); обратная по всей длине ствола скважины (б); комбинированная по всей длине ствола скважины (в); прямая по части длины ствола скважины (г); обратная по части длины ствола скважины, например с помощью погружных пневматических насосов (д)

Тогда размеры зоны кольматации при прямой полной циркуляции  $l_{nc}$  и местной обратной циркуляции  $l_{mc}$  будут определяться по (2) и (3) соответственно:

$$l_{nc} = A\Delta P_{nc} / \tau_0, \quad (2)$$

$$l_{mc} = A\Delta P_{mc} / \tau_0, \quad (3)$$

где  $\Delta P_{nc}$  и  $\Delta P_{mc}$  – репрессии на пласт при прямой полной циркуляции и местной обратной циркуляции.

Сравнительную эффективность этих способов промывки найдем как отношение размеров зон кольматации при реализации вышеназванных способов:

$$K_l = l_{nc} / l_{mc}, \quad (4)$$

где  $K_l$  – линейный кольматационный критерий эффективности способов промывки.

Подстановка (2), (3) в (4) дает

$$K_l = \Delta P_{nc} / \Delta P_{mc} . \quad (5)$$

В свою очередь репрессии на пласт при прямой полной промывке  $\Delta P_{nc}$  и местной обратной  $\Delta P_{mc}$  будут определять выражения (6) и (7) соответственно:

$$\Delta P_{nc} = P_{заб}^{nc} - P_{пл} , \quad (6)$$

$$\Delta P_{mc} = P_{заб}^{mc} - P_{пл} , \quad (7)$$

где  $P_{заб}^{nc}$  и  $P_{заб}^{mc}$  – полное забойное давление промывочной жидкости при прямой полной промывке и местной обратной промывке соответственно.

Полное забойное давление промывочной жидкости при прямой полной циркуляции  $P_{заб}^{nc}$  имеет две составляющие: гидростатическую и гидродинамическую.

Гидростатическая составляющая обусловлена гидростатическим давлением столба промывочной жидкости:

$$P_{zc}^{nc} = \gamma H ,$$

где  $\gamma$  и  $H$  – удельный вес и высота промывочной жидкости в скважине.

Гидродинамическая составляющая – это сумма потерь давления промывочной жидкости  $P_{zn}$  и гидродинамического давления  $P_{zd}$  при ее движении в кольцевом затрубном пространстве, определяемых по (8) и (9) соответственно [2].

$$P_{zn} = \lambda \gamma \frac{LQ^2}{(D-d)2gF^2} , \quad (8)$$

где  $\lambda$  – коэффициент гидравлических сопротивлений при течении жидкости в кольцевом затрубном пространстве;  $L$  – длина пути движения промывочной жидкости в кольцевом затрубном пространстве;  $Q$  – подача промывочной жидкости в скважину;  $D$  и  $d$  – соответственно наружный и внутренний диаметр кольцевого затрубного пространства;  $g$  – ускорение свободного падения;  $F$  – площадь сечения кольцевого затрубного пространства.

$$P_{zd} = \frac{\rho v^2}{2} , \quad (9)$$

где  $\rho$  – плотность промывочной жидкости;  $v$  – скорость промывочной жидкости в затрубном пространстве.

Если в формуле (8) обозначить  $\lambda \frac{Q^2}{(D-d)2gF^2}$  через  $k_u^{mц}$ , то она применительно к промывке с прямой полной циркуляцией примет вид:

$$P_{zn}^{mц} = k_u^{mц} \gamma L, \quad (10)$$

Тогда полное забойное давление промывочной жидкости при прямой полной промывке  $P_{заб}^{mц}$  и обратной местной промывке  $P_{заб}^{Mц}$  будут определять выражения (11) и (12) соответственно:

$$P_{заб}^{mц} = P_{zc}^{mц} + P_{zn}^{mц} + P_{zd}^{mц}, \quad (11)$$

$$P_{заб}^{Mц} = P_{zc}^{Mц} + P_{zn}^{Mц} + P_{zd}^{Mц}, \quad (12)$$

где  $P_{zd}^{mц}$  – гидродинамическое давление при прямой полной промывке;  $P_{zc}^{mц}$ ,  $P_{zn}^{mц}$  и  $P_{zd}^{Mц}$  – гидростатическое давление столба жидкости, потери давления жидкости и гидродинамическое давление при местной обратной промывке соответственно.

$$P_{zd}^{mц} = \frac{\rho v_{mц}^2}{2}, \quad (13)$$

где  $v_{mц}$  – скорость промывочной жидкости в затрубном пространстве при прямой полной промывке;

$$P_{zd}^{Mц} = \frac{\rho v_{Mц}^2}{2}, \quad (14)$$

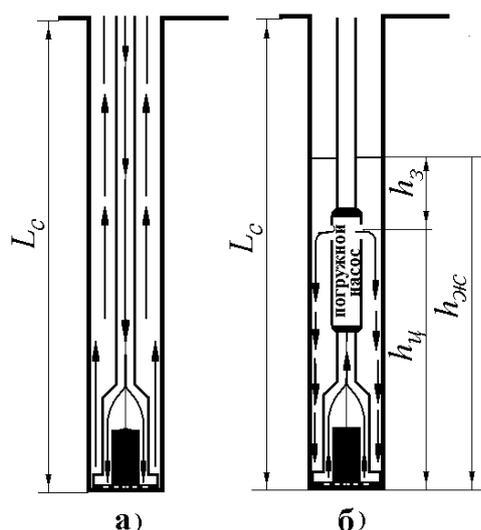
где  $v_{Mц}$  – скорость промывочной жидкости в затрубном пространстве при местной обратной промывке.

На рис. 2 приведены расчетные схемы для определения  $P_{zc}^{mц}$ ,  $P_{zc}^{Mц}$ ,  $P_{zn}^{mц}$  и  $P_{zn}^{Mц}$ .

Согласно рис. 2,а

$$P_{zc}^{mц} = \gamma L_c, \quad (15)$$

где  $L_c$  – уровень жидкости в скважине.



Согласно рис. 2,б

$$P_{zc}^{мц} = \gamma h_{жс}, \quad (16)$$

где  $h_{жс}$  – уровень жидкости в скважине при местной обратной промывке.

$$P_{zn}^{мц} = k_{ц}^{мц} \gamma h_{ц} = k_{ц}^{мц} \gamma (h_{жс} - h_3), \quad (17)$$

где  $h_3$  и  $h_{ц}$  – заглубление погружного насоса под уровень жидкости при местной обратной промывке и длина гидравлического контура, на котором происходит циркуляция.

Рис. 2 – Расчетные схемы для определения  $P_{zc}^{мц}$ ,  $P_{zn}^{мц}$  и  $P_{zd}^{мц}$  при: прямой промывке по всей длине ствола скважины (а); обратной по части длины ствола скважины (б)

С учетом вышеприведенных зависимостей формулы (11), (12), и (4) примут вид (18), (19) и (20) соответственно:

$$P_{заб}^{мц} = \gamma L_c + k_{ц}^{мц} \gamma L_c + \frac{\rho v_{мц}^2}{2}, \quad (18)$$

$$P_{заб}^{мц} = \gamma h_{жс} + k_{ц}^{мц} \gamma (h_{жс} - h_3) + \frac{\rho v_{мц}^2}{2}, \quad (19)$$

$$K_l = \frac{L_c \gamma (1 + k_{ц}^{мц}) + \frac{\rho v_{мц}^2}{2} - P_{пл}}{\gamma (1 + k_{ц}^{мц}) h_{жс} - k_{ц}^{мц} \gamma h_3 + \frac{\rho v_{мц}^2}{2} - P_{пл}}. \quad (20)$$

Из формулы (20) следует, что размер зоны кольматации при местной обратной промывке (рис. 2,б) будет меньше, чем при прямой полной промывке (рис. 2,а) за счет уменьшения гидростатической и гидродинамической составляющей полного забойного давления.

Кольматация – это процесс, развивающийся во времени. При обратной прерывистой промывке время воздействия гидродинамической составляющей пластового давления на пласт меньше, чем при прямой постоянной промывке, когда  $Q = \text{const}$ , т. к. во время паузы в подаче промывочной жидкости на пласт будет действовать только одно гидростатическое давление.

На рис. 3 приведены графики  $Q = f(t)$ ,  $P_{zc} = f(t)$ ;  $P_{zd} = f(t)$  для постоянной (рис. 3,а) ( $Q = \text{const}$ ) и прерывистой промывки (рис. 3,б) ( $Q = \text{var}$ ).

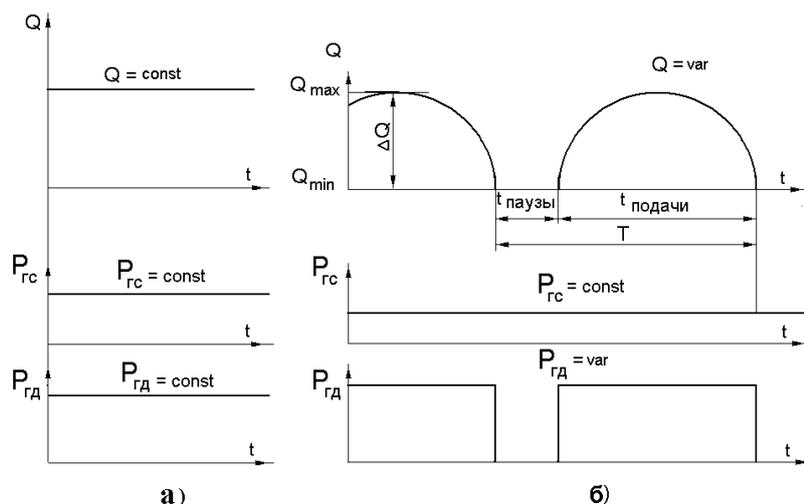


Рис. 3 – Зависимости  $Q = f(t)$ ,  $P_{гс} = f(t)$ ;  $P_{гд} = f(t)$  при: прямой промывке с постоянным расходом жидкости по всей длине ствола скважины (а); обратной прерывистой промывке по части длины ствола скважины (б)

жидкости  $t_{паузы}$  к времени подачи  $t_{подачи}$  т. е.  $k_{пр} = t_{паузы} / t_{подачи}$ , то время действия гидродинамического давления промывочной жидкости по сравнению с постоянной промывкой будет меньше и составит

$$t_{мц} = t_{мц} \cdot k_{пр},$$

где  $t_{мц}$ ,  $t_{мц}$  – время действия гидродинамического давления при прерывистой и постоянной промывке.

Тогда временной координатный показатель эффективности промывки

$$K_t = t_{мц} / t_{мц} = 1 / k_{пр}.$$

Выводы:

С целью сохранения коллекторских свойств низкопористых песчаников при бурении на газ-метан целесообразно использовать местную обратную прерывистую промывку, поскольку:

- размер зоны кольтматации будет меньше, чем при применении прямой промывки с выходом промывочной жидкости на дневную поверхность;
- время действия гидродинамического давления промывочной жидкости на вскрываемый пласт меньше, чем при постоянной прямой промывке с выходом промывочной жидкости на поверхность.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник по бурению скважин на воду / Д. Н. Башкатов, С. С. Сулакшин, С. Л. Драхлис., Г. П. Квашнин. Под редакцией проф. Д. Н. Башкатова. – М.: Недра, 1979. – 560 с.

Из графиков следует, что время подачи промывочной жидкости  $t_{подачи}$  – это время действия полного забойного давления (и гидростатического и гидродинамического), а время паузы  $t_{паузы}$  – это время действия только гидростатического давления.

Поскольку коэффициент прерывистости  $k_{пр}$  показывает величину отношения продолжительности паузы между подачей

**УДК:662.831.322**

Канд. техн. наук О.В. Бурчак  
(ІГТМ НАН України)

## **ПАРАМАГНІТНІ ВЛАСТИВОСТІ КАМ'ЯНОГО ВУГІЛЛЯ ЯК ПОКАЗНИКИ СТАНУ РЕЧОВИНИ**

Исследованы особенности поведения ископаемого органического вещества как метастабильной системы. Представлены возможные механизмы накопления свободной энергии в структуре угля. Показана зависимость свойств угольного вещества от его состояния и структурных особенностей.

## **PARAMAGNETIC PROPERTIES OF COAL AS INDEXES OF THE STATE OF MATTER**

The features of conduct of fossil organic matter as a metastable system are explored. The possible mechanisms of accumulation of free energy in the structure of coal are represented. Dependence of properties of coal matter of it state and structural features is shown.

**Постановка проблеми.** Більшість проблем які супроводжують видобуток кам'яного вугілля пов'язані з газовим фактором. З наявністю в кам'яному вугіллі та породах, що вміщують вугільні пласти, великої кількості флюїдів і в першу чергу метану [1]. Тож дослідження стану та складу вугілля, а також процесів що відбуваються в речовині на мікрорівні залишаються актуальним. Принципово важливим є дослідження походження метану вугільних пластів та форм знаходження флюїдів в твердій речовині.

Фактором, що суттєво стримує вирішення проблеми є сприйняття вугілля як сталого об'єкту з постійною структурою та властивостями. Кам'яне вугілля є метастабільною системою, фізичний або енергетичний стан якої, змінюється при зміні зовнішніх умов [2]. Енергетичний стан речовини, тобто кількість накопиченої енергії, визначає хід подальших хімічних перетворень чи фізико-хімічних реакцій і як наслідок впливає на формування складу та властивостей речовини. А від так, енергетичний стан речовини впливає на процеси газогенерації, прояви газодинамічних явищ, або самозаймання вугілля. Але будь яким змінам в молекулярному складі передують структурні трансформації речовини, що визначають хід подальших хімічних перетворень, та фізико-хімічних реакцій.

**Завдання роботи.** Дослідження структурних трансформацій речовини пов'язаних зі змінами енергетичного стану вугілля, що передують хімічним перетворенням та фізико-хімічним реакціям і обумовлюють зміни складу, структури та властивостей викопної органіки.

**Результати досліджень та їх обговорення.** З метою дослідити структурні трансформації пов'язані з енергетичним станом вугільної речовини до початку зміни молекулярного складу експерименти проводились з малими енергіями впливу методом електронного парамагнітного резонансу (ЕПР). Нагрів