

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК [622.411:622.274.3]:622.445](083.75)

В.Т. Преслер

СЦЕНАРИИ ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗА АЭРОГАЗОВОЙ ОБСТАНОВКИ НА ВЫЕМОЧНОМ УЧАСТКЕ

Сценарный подход к оперативному прогнозу аэrogазовой обстановки (АГО) на выемочном участке при комбинированном проветривании опирается на непрерывно поступающие оперативные телеметрические данные по аэrogазовому состоянию в очистной выработке и газоотсасывающем вентиляторе. Статистический анализ и обработка позволяют, с одной стороны, выявить временные тренды параметров АГО и на этой основе прогнозировать это состояние на период, соизмеримый с периодом получения данных. С другой стороны, значимые изменения параметров АГО в сопоставлении со значимыми изменениями нагрузки на забой позволяют установить функциональные зависимости, и на их основе производить анализ обстановки на выемочном участке в зависимости от возможных изменений нагрузки на забой в течение времени, сопоставимом с периодом допустимого прогноза. Поскольку выявленные тренды и функциональные зависимости носят локальный характер и обновляются по мере поступления данных о состоянии в результате снятия новых стружек, то они в наибольшей степени отражают газокинетические свойства пласта, присущие ему на данном этапе отработки.

Введем основные понятия, на которых основывается проведение оперативного прогноза АГО [1].

Период обработки данных – временной интервал, в пределах которого полученные данные запускаются в обработку. В его качестве используем периоды снятия декастружки, нескольких подряд снятых декастружек и гектостружки (сто подряд снятых стружек).

Период обновления данных – временной интервал, через который происходит обновление оперативных данных, т.е. смещение по времени интервала их обработки. В качестве этого периода используем периоды снятия стружки и декастружки.

Период прогноза – максимальный отрезок времени, на который производится прогноз данных. Период прогноза данных сопоставим с периодом их обработки. *Шаг прогноза* – минимальный отрезок времени, с которым производится временной прогноз в пределах его периода. В качестве шага прогноза используются периоды сня-

тия стружки и декастружки или кратные им величины.

Набор данных – множество данных одного типа, полученных в течение периода их обработки. Включает значения этого данного по снятым стружкам, их среднее значение, доверительный интервал и показатель стабильности данного. Набор представляется в виде

$$\Omega_{\omega} = \{\omega_i, \quad i = 1 \div n, \quad \bar{\omega}, \quad \delta\omega, \quad p\omega\},$$

$$\bar{\omega} = \sum_{i=1}^n \omega_i / n,$$

$$\delta\omega = 1,96 \sqrt{\sum_{i=1}^n (\omega_i - \bar{\omega})^2} / n, \quad p\omega = \delta\omega / \bar{\omega},$$

где ω_i – значения некоторого данного из их множества, полученные в результате снятия стружек; n – число стружек, включенных в набор, определяет период обработки данных; $\bar{\omega}$, $\delta\omega$ и $p\omega$ – среднее значение, доверительный интервал и показатель стабильности данного. Под обозначением ω понимается одно из 13-ти данных из их множества ($T, A, Q, , Q_1, Q_2, C, C_1, C_2, I, I_1, I_2, k_1, k_2$), а сами данные имеют следующий физический смысл. T – период снятия стружки, час. A – нагрузка на забой, т/час. Величины $Q, , Q_1, Q_2, = Q_1-Q$ – расходы воздуха, соответственно на исходящей струе, на входе выемочного участка и в выработанном пространстве (рассматриваются по сути две комбинированные схемы – нисходящее и восходящее проветривание), m^3/\min . Величины C, C_1, C_2 и I, I_1, I_2 – максимальные концентрации метана (%) и его расходы (m^3/\min), соответственно на исходящей струе, на выходе из забоя и на газоотсасывающем вентиляторе. Величина $k_1=A/(60\cdot Q)$ – коэффициент добычи, характеризующий добычу угля на кубометр, доставленного в забой воздуха, t/m^3 , а величина $k_2=Q / \cdot Q_1$ – коэффициент доставки воздуха в забой, непосредственно связан с коэффициентом воздухораспределения k_p соотношением $k_2=1-k_p$.

Показатель стабильности данного, характери-

зует степень его изменчивости на интервале обработки. Если выполняется условие

$$r\omega < p\omega_0 , \quad (1)$$

то считаем ω с точностью до пороговой величины $r\omega_0$ стабильным данным. В противном случае считаем ω нестабильным данным, что в свою очередь указывает на существенное изменение аэрогазовой ситуации на выемочном участке.

Рассмотрим упомянутые данные с позиций их временного прогноза.

Период снятия стружки T и, соответственно, рассчитываемая по нему нагрузка на забой A , относятся к регулируемым данным, возможность изменения которых обусловлена в основном горно-технологическими условиями на выемочном участке, хотя по независящим от человека объективным причинам могут колебаться в достаточно широких пределах от стружки к стружке. Пять данных (Q_1, Q_2, C, C_1, C_2) являются замерами, которые производятся в рамках систем мониторинга аэрогазовой обстановки с высокой степенью оперативности. Остальные данные ($I_2, I, I_1, I_2, k_1, k_2$) являются расчетными.

Расход воздуха на входе в забой Q_1 относится к регулируемым данным и является наиболее стабильным в смысле критерия (1). Оно практически не меняется в течение длительного времени, а его скачкообразное изменение связано с существенным изменением аэрогазовой ситуации в выработке, вызванного увеличением ее газообильности или неэффективным распределением воздушного потока между забоем и выработанным пространством, т.е. нарушением аэрогазодинамической изоляции выработанного пространства.

Расходы воздуха на исходящей струе Q и в выработанном пространстве Q_2 определяются степенью аэрогазодинамической изоляции выработанного пространства, его аэродинамическим сопротивлением и депрессией, создаваемой газоотсасывающим вентилятором. При постоянном входном потоке эти данные стабильны. Вследствие регулируемого характера данных (T, A, Q, Q_1, Q_2) и длительной стабильности данных (Q, Q_1, Q_2), их временной прогноз нецелесообразен.

По определению, данные (I, I_1, I_2) при постоянных расходах воздуха (Q, Q_2) прямо пропорциональны своим концентрациям (C, C_1, C_2). Вследствие этого временной прогноз концентраций метана с точностью до постоянного множителя определяет прогнозные значения соответствующих расходов метана. Для непостоянных, но стабильных расходов воздуха (Q, Q_2) изменения расходов метана (I, I_1, I_2) определяются совместными изменениями соответствующих им концентраций и расходов воздуха и в этом случае прогнозные значения расходов метана уже не будут

однозначно определяться прогнозными значениями их концентраций. Резкое изменение входного расхода воздуха скачкообразно меняет аэрогазовую ситуацию в целом на выемочном участке. Вследствие этого прогноз концентраций не может быть выполнен, поскольку концентрации терпят разрыв, однако прогноз допустим для расходов метана, которые фактически не зависят от расходов воздуха, и не терпят никакого разрыва.

Согласно определению, при постоянном входном потоке изменчивость коэффициента доставки воздуха k_2 однозначно определяется изменчивостью данного Q ($\delta k_2 = \delta Q / Q_1$). Однако, при скачкообразном изменении входного расхода воздуха Q_1 и, соответственно Q , величина его изменения будут не столь значимой, как у составляющих его компонент. Вследствие этого, его состояние может прогнозироваться с целью исследования характера стабилизации аэрогазовой обстановки по фактору скачка входного расхода воздуха, т.е. для установления характера переходного процесса и времени его стабилизации. Естественно, подобный прогноз целесообразен, если длительность переходного процесса превышает период декаструктуры.

Из анализа, проведенного с позиций временного прогноза, следует.

- Прогноз по концентрациям (C, C_1, C_2) проводится для стабильных данных (Q, Q_1).
- Прогноз по расходам метана (I, I_1, I_2) проводится для стабильных и нестабильных расходов воздуха (Q, Q_1).
- Прогноз по коэффициенту доставки k_2 проводится только для нестабильных данных (Q, Q_1).

Рассмотрим теперь возможности прогноза аэрогазовой ситуации на выемочном участке в зависимости от нагрузки на забой. Поскольку данные (C_2, I_2) от нагрузки непосредственно не зависят, прогнозу подвергаются только данные (C, C_1, I, I_1). Чтобы их прогноз был возможен, необходимы значимые изменения нагрузки на забой A , т.е. для нее требуется невыполнение условия (1). При постоянных расходах воздуха (Q, Q_1) производится только прогноз концентраций метана (C, C_1), поскольку в этом случае соответствующие им расходы метана определяются однозначно. Для непостоянных, но стабильных расходов (Q, Q_1), целесообразен прогноз по всем четырем данным (C, C_1, I, I_1), а для нестабильных расходов (Q, Q_1) только по расходам метана (I, I_1).

Среди данных особое место занимает коэффициент добычи k_1 . При его значимых изменениях, т.е. невыполнении условия (1), допустим прогноз концентраций (C, C_1) по его состоянию и поиск такого соотношения нагрузки и доставляемого в

забой воздуха, которое обеспечивает оптимальные значения компонент (увеличение нагрузки, снижение подаваемого в забой воздуха) не переходя пороговых значений концентраций.

Для выявления тенденций в динамике аэрогазовых процессов на выемочном участке (временные тренды, зависимости от нагрузки на забой и коэффициента добычи) и их оперативного прогноза на текущем этапе отработки лавы используем функциональные зависимости квадратичного типа

$$\begin{aligned}\omega_{\Theta} &= \omega_{\Theta}(\Pi_{\omega,N}^{\Theta}, \Theta) = \\ &= a_{\omega,N}^{\Theta} + b_{\omega,N}^{\Theta} \cdot \Theta + c_{\omega,N}^{\Theta} \cdot \Theta^2,\end{aligned}\quad (2)$$

где Θ - аргумент, по которому производится аппроксимация наборов данных Ω_{ω} . В качестве аргумента выступают: нагрузка на забой A , коэффициент добычи k_1 и время $\tau=t-t_0$, где t – текущее время, t_0 - время начала поступления значений аппроксимируемого данного в набор. $\Pi_{\omega,N}^{\Theta} = (a_{\omega,N}^{\Theta}, b_{\omega,N}^{\Theta}, c_{\omega,N}^{\Theta})$ - неизвестные коэффициенты, которые рассчитываются по методу наименьших квадратов (МНК). Верхний индекс указывает на аргумент, по которому производится аппроксимация набора, а индекс N внизу – на число декаструженок в наборе, $10 \cdot N = n$.

В соответствии с МНК минимизируется критерий невязок

$$\begin{aligned}\Phi_{\omega,N}^{\Theta} &= \min_{\Pi_{\omega,N}^{\Theta}} \Phi_{\omega}(\Pi_{\omega,N}^{\Theta}) = \\ &= \min_{\Pi_{\omega,N}^{\Theta}} \sum_{i=1}^{\tilde{n}+1} [\tilde{\omega}_i - \omega_{\Theta}(\Pi_{\omega,N}^{\Theta}, \Theta_i)]^2,\end{aligned}\quad (3)$$

где $\tilde{\omega}_i$ - предварительно обработанные значения данного $\{\omega_j, j = 1 \div n\}$ согласно разбиению

интервала обработки $\left(\min_{j=1 \div n} \Theta_j, \max_{j=1 \div n} \Theta_j \right)$

на \tilde{n} отрезков. Предварительная обработка данных вызвана необходимостью, во-первых, уменьшить влияние случайных факторов, постоянно действующих на контролируемом объекте, во-вторых, сократить число отрезков, по которым производится аппроксимация данных, и, в-третьих, устранить эффект "слипания" данного (большое число его значений на малом интервале обработки) с целью получения более равномерного характера его распределения на интервале обработки. Третье обстоятельство относится к процедуре аппроксимации данных по аргументу нагрузки на забой и коэффициенту добычи.

Отмеченные обстоятельства разрешаются посредством процедуры скользящего усреднения на

интервале максимальной длины и обычного усреднения на выделенных отрезках значений данных, включая и значения, представляющие аргументы функциональных зависимостей (2). Поскольку скользящее усреднение обладает эффектом сглаживания, то его применение на этапе предварительной обработки способствует повышению объективности процесса выявления тенденций в развитии аэрогазовой обстановки. Для придания однотипного характера процессу аппроксимации данных интервал их обработки вне зависимости от числа измерений разбиваем на десять отрезков, что соответствует минимальному размеру наборов данных, сформированных на базе отдельной декаструженки. При этом следует иметь в виду, что увеличение длительности отрезков усреднения (для временного прогноза по гектостружке длина отрезка в среднем равна периоду декаструженки) может приводить к эффекту "поглощения" локальных газокинетических особенностей отрабатываемого на данном этапе пласта.

В результате минимизации критерия (3) формируются системы из трех линейных относительно коэффициентов $\Pi_{\omega,N}^{\Theta}$ уравнений. Их решение определяет множество функциональных зависимостей (трендов для зависимостей от времени, число которых с учетом проведенного ранее анализа может достигать 60), детально характеризующих аэрогазовую обстановку на интервалах обработки различной длины в пределах периода гектостружки и максимального размаха нагрузок на забой, достигнутого за этот период. Для установленных зависимостей рассчитываются соответствующие им доверительные интервалы, которые в ходе проведения прогноза будут определять коридоры допустимой изменчивости прогнозируемых значений на интервалах прогноза, назовем их доверительные интервалы прогноза

$$\delta^* \omega_{\Theta} = 1,96 \sqrt{\Phi_{\omega,N}^{\Theta}} / (\tilde{n} + 1).$$

Доверительные интервалы прогноза по своим значениям должны быть меньше соответствующих доверительных интервалов изменчивости данных $\delta \omega$ ($\delta^* \omega_{\Theta} < \delta \omega$), рассчитанных по их исходным наборам. Временной прогноз выполняется с шагом на глубину периода прогноза, который определяется периодом обработки данных. Прогноз по нагрузке производится как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения нагрузок с некоторым шагом ΔA , например $\Delta A = (\max A - \min A) / 10$, на глубину, определяемую размахом нагрузок $= (\max A - \min A)$. Для повышения объективности временного прогноза большое значение имеет анализ трендов $\omega_{\tau}(\Pi_{\omega,N}^{\tau}, \tau)$, полученных по различным периодам обработки данных (от декаструженки до гектостружки).

Во-первых, если тенденции в изменении аэrogазовой ситуации носят устойчивый характер (только повышение газообильности и концентраций или наоборот, только их спад), то все тренды должны отражать этот характер, хотя и с различной степенью точности, определяемой их инерционными свойствами. Чем больше период обработки данных, тем больше инерционность тренда, из-за ускорения процесса “старения” данных по мере удаления от времени снятия текущей стружки. В математической формулировке это соответствует монотонности трендов (только рост, или только спад), что однозначно определяется знаком первой производной (только положителен, или только отрицателен) в пределах периода обработки данных.

$$\omega'_\tau \left(\Pi_{\omega,N}^\tau, \tau \right) = b_{\omega,N}^\tau + 2 c_{\omega,N}^\tau \cdot \tau > / < 0 . \quad (4)$$

Во-вторых, сохранение устойчивости тенденций на последующий период обработки лавы, отражается в сохранении монотонного характера трендов в пределах периодов прогноза, т.е. выполняется условие (4). Массовое нарушение условия монотонности (4) в трендах (смена знака – признак появления экстремума в периоде прогноза), полученных на текущих периодах обработки и последующих после обновления данных, свидетельствует о смене аэрогазовой ситуации на объекте. В этом случае период прогноза ограничивается ближайшей к периоду обработки точкой экстремума $\tau_3 = \min_N a_{\omega,N}^\tau / 2 b_{\omega,N}^\tau$. Сама эта

точка экстремума по мере снятия новых стружек и обновления данных должна постепенно перемещаться и войти в периоды обработки данных. Постепенность перемещения ближайшей точки экстремума и ее вход в период обработки может служить критерием смены тенденций в аэрогазовой обстановке. При единичных нарушениях условия (4) тренды, допустившие нарушение, бракуются.

В-третьих, стабильность аэрогазовой обстановки на длительном временном интервале, выражаемая в стабильности концентраций и расходов метана, устанавливается по факту малости коэффициентов трендов $(b_{\omega,N}^\tau, c_{\omega,N}^\tau)$ и случайному характеру изменения их знаков. В этом случае аэрогазовая ситуация полностью определяется средними значениями данных и их доверительными интервалами.

В-четвертых, степень доверия к установленным трендам определяется по результатам совместного вхождения прогнозируемых значений, полученных по однотипным трендам различного периода обработки, в коридоры, которые определяются их доверительными интервалами прогноза, в частности, в результате выполнения условий типа

$$|C^* \cdot \bar{Q} - I^*| \leq \delta^* I, \quad |C^* - I^*/\bar{Q}| \leq \delta^* C . \quad (5)$$

Величины, входящие в условия (5), характеризуют прогнозируемые значения концентраций, соответствующие им прогнозные значения расходов метана и средние по периодам обработки расходы воздуха.

В соответствии с периодом обработки данных рассмотрим временной тип прогноза, включающий десять сценариев.

- **Сверхоперативный прогноз** – кратковременный сценарий, выполняется по данным декастрожки с периодом обновления, равным периоду стружки, и распространяется на период прогноза, равный периоду декастрожки с шагом, равным периоду стружки. Данный прогноз наиболее динамичен и наименее инерционен, поскольку опирается на минимальный период обработки данных.

- **Макро-оперативный прогноз** – долговременный сценарий, выполняется по данным гектостружки с периодом обновления, равным периоду декастрожки, и распространяется на период прогноза, равный периоду гектостружки с шагом, равным периоду декастрожки. Данный прогноз наименее динамичен и наиболее инерционен, поскольку опирается на максимальный период обработки данных.

- **J-Мезо-оперативные прогнозы** – средне временные сценарии, серия промежуточных прогнозов. Конкретизация приставки J конкретизирует отдельный прогноз из серии. Выполняются по данным нескольких декастрожек ($J=2 \div 9$) с периодом обновления, равным периоду декастрожки, и распространяются на период прогноза, равный периоду обработки с шагом, кратным периоду стружки, в зависимости от числа интегрированных декастрожек. Число таких прогнозов может доходить до 8-ми, причем все они будут различаться как своим динамизмом, так и инерционностью, практически полностью перекрывая диапазон сверхоперативных и макро-оперативных прогнозов. Естественно, для целей прогноза используется не вся серия, а только некоторые мезо-оперативные прогнозы, выбор которых обусловлен конкретной аэрогазовой ситуацией. При смене ситуаций может произойти и смена прогнозов.

Отличительным свойством оперативных прогнозов является их скользящий по времени характер, обусловленный постоянным обновлением данных по мере снятия новых стружек. Это свойство обеспечивает возможность постоянного уточнения прогнозов, полученных после очередного обновления данных, за счет учета рассогласования аппроксимированных и прогнозных значений до обновления и аппроксимированных значений в пределах периода обработки после обновления (рис. 1). Уточнение производится по формуле

$$\tilde{\omega}_i^* = \omega_i^* \cdot \omega_i / \omega_i^- , \quad i = 1, 2, \dots ,$$

где верхний индекс “*” указывает на прогнозные

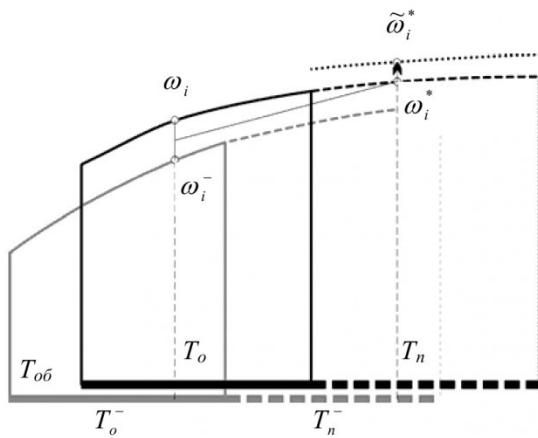


Рис.1. Схема уточнения прогноза

значения, полученные после обновления данных в пределах периода прогноза T_n , “-” – на периоды обработки и прогноза данных (T_o^- , T_n^-) до их очередного обновления, т.е. до продвижения вперед по времени на период обновления данных $T_{об}$, “волнистая черта” – на уточненные прогнозные значения после обновления данных, ω - аппроксимированные в пределах периода обработки T_0 значения данных после их обновления, нижний индекс i – на конкретные значения, выбираемые с сопоставимыми шагами в пределах периодов обработки и прогноза до обновления и после обновления данных.

На рис. 2 на базе оперативных данных, полученных по лаве 24-43 шахты им. Кирова при средней нагрузке на забой 220 т/час (в сутки снималось по одной декастрюже), проиллюстрирована работа макро-оперативного и 5-мезо-оперативного прогнозов с уточнением прогнозных результатов. Как следует из анализа графиков, результаты макро-оперативного прогноза до и после обновления данных достаточно близки ($\delta I < 3\%$) и указывают на тенденцию роста газообильности очистной выработки со временем. Мезо-оперативный прогноз по 5 декастрюжкам (до и после обновления данных) также дает близкие результаты ($\delta I < 5\%$), но в отличие от макро-оперативного прогноза его уточнение выявляет тенденцию снижения газообильности на исходе 5 суток с момента проведения прогноза. Отметим и другую особенность – уточненные значения макро-оперативного прогноза очень хорошо “ложатся” на кривую мезо-оперативного прогноза до обновления данных.

В рамках изложенного подхода для каждой концентрации и расхода метана из списка данные (C , C_l , I , I_l) для значимых изменений нагрузки на забой по декастрюжкам могут быть получены до 10 функциональных зависимостей от нагрузки (2). Зависимости отличаются наращиваемым периодом обработки данных - от периода последней снятой декастрюжки до периода снятой гектост-

ружки. При стабильном характере поведения однотипных коэффициентов этих зависимостей, для прогноза по нагрузке достаточно воспользоваться некоторыми усредненными зависимостями, в которых коэффициентами являются их средние значения по всей серии, полученных зависимостей.

Процедура выявления стабильного характера поведения коэффициентов аналогична уже описанной процедуре выявления стабильности данных в наборах. Если коэффициенты имеют нестабильный характер, то требуется их аппроксимация по фактору времени, поскольку в этом случае изменение аэрогазовой обстановки в очистной выработке определяется изменениями как нагрузки, так и газокинетических свойств пласта.

Для проведения процедуры аппроксимации данных по фактору времени будем опираться на интегрированные декастрюжики (D_i^j , $j=1,2,\dots$), идущие друг за другом. D_i используется для обозначения интегрированной декастрюжики, а индекс j указывает на количество декастрюжек в ней. Для интегрированных декастрюжек период обработки данных всегда превышает период гектостружки за исключением D_i^1 , когда они совпадают. Так, если для проведения процедуры аппроксимации коэффициентов с использованием МНК потребовать 10 значений, то для декастрюжек D_i^{10} необходимо 10 гектостружек, что соответствует нескольким месяцам для забоев средней производительности. Такой период обработки чрезмерно велик с позиций оперативности и надежности получения в дальнейшем прогнозных оценок. В связи с этим ограничиваем степень интеграции декастрюжек на уровне $j=5$, а необходимое для аппроксимации коэффициентов количество значений для декастрюжек D_i^5 устанавливаем на уровне 6. Тогда будем иметь следующие соотношения между степенью интеграции декастрюжек и числом необходимых для аппроксимации значений: $D_i^1 \rightarrow 10$, $D_i^2 \rightarrow 7$, $D_i^3 \rightarrow 6$, $D_i^4 \rightarrow 6$, $D_i^5 \rightarrow 6$, максимальный период обработки будет соответствовать периоду 30 декастрюжек, что для забоев средней производительности равнозначно месяцу, а для высокопроизводительных забоев 10-15 суткам. В то же время этот период определяет и максимальную глубину прогноза – месяц для забоев средней производительности и в пределах 15 суток для высокопроизводительных забоев.

В результате аппроксимации коэффициентов зависимостей (2), полученных по интегрированным декастрюжкам по каждому данному ϕ из (C , C_l , I , I_l), получим по пять моделей вида:

$$\begin{aligned} \omega^j = \omega^j(\tau, A) = \\ = a_1^j(\tau) + a_2^j(\tau) \cdot A + a_3^j(\tau) \cdot A^2, \quad j = 1 \div 5 \\ a_i^j(\tau) = a_{i,1}^j + a_{i,2}^j \cdot \tau + a_{i,3}^j \cdot \tau^2, \quad i = 1 \div 3 \end{aligned} \quad (6)$$

Сформированные по различным периодам обработки модели (6) отличаются и своими периодами прогноза. Минимальные периоды для декастрюек D_i^1 совпадают с периодами макро-оперативного прогноза. В отличие от этого прогноза, дающего интегрированную, сжатую картину развития аэрогазовой обстановки в очистной выработке, модели (6) дают развернутые по нагрузкам, а значит, более объективные картины текущего ее состояния и прогнозные картины ее развития в пространстве двух основных факторов. Двухфакторный прогноз будем называть **J -интегрированным макро-прогнозом**, где конкретизация приставки J конкретизирует модель (6), по которой производится прогноз. Двухфакторный прогноз определяет второй тип сценария прогноза, но в отличие от временного типа учитывает и время и нагрузку.

Для повышения объективности детальных прогнозных картин развития аэрогазовой обстановки в выработке необходима адекватность моделей (6) реальной ситуации в пространстве факторов времени и нагрузки, являющимися интервалами обработки данных. Фактор нагрузки, в отличие от фактора времени, требует введения элемента ее планирования. Планирование нагрузки состоит в том, что от декастрюки к декастрюже в среднем идет постепенное ее наращивание, которое приводит как к значимому ее различию в пределах периодов обработки отдельных интегрированных декастрюек, так и к значимому различию их средних в пределах максимального периода обработки интегрированных декастрюек. Следует отметить, что глубина J -интегрированного макро-прогноза в сторону роста нагрузки для газовыделения на выемочном участке (I, I_I) ограничивается его верхними оценками, полученной на базе последней декастрюжики, снятой на момент прогноза

$$I = 1,6 \frac{A_{max}}{\bar{A}} \cdot \hat{I} \cdot \left(1 - e^{-T_{max}/\bar{T}} \right),$$

$$I_I = 1,6 \frac{A_{max}}{\bar{A}} \cdot \hat{I}_I \cdot \left(1 - e^{-T_{max}/\bar{T}} \right), \quad (7)$$

где A_{max} , T_{max} - максимально достигнутая или планируемая нагрузка на забой и ее период снятия, \bar{A} , \bar{T} - средняя нагрузка и период снятия, рассчитанные по данным последней декастрюжики, \hat{I} , \hat{I}_I - верхние статистические оценки газовыделения.

На рис. 3 продемонстрирована работа 3-интегрированного макро-прогноза, построенного по оперативным данным, полученным по лаве 24-43 шахты им. Кирова, с периодом обработки по времени в 18 суток, что соответствует 18 декастрюжкам при нагрузке на забой 200 т/час. На ри-

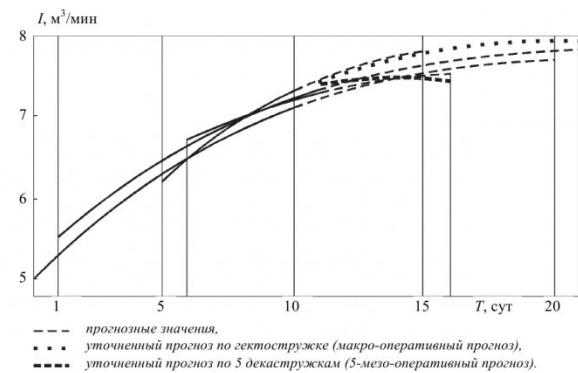


Рис. 2. Макро-оперативный и 5-мезо-оперативный прогнозы с уточнением

сунке приведены срезы аппроксимирующей зависимости по времени τ на начало, 9-ые и 18-ые сутки периода обработки данных. Срезы, полученные на интервале нагрузок 200-300 т/час, реально достигавшихся в пределах 18 суток, являются результатом аппроксимации газовыделения I на выемочном участке зависимостью типа (6), а на интервале нагрузок 300-400 т/час – результатом прогноза, также согласно (6). Значение максималь-

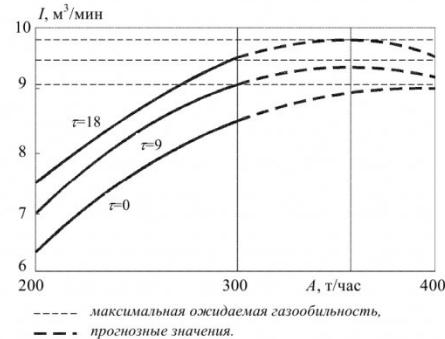


Рис. 3. 3-интегрированный макро-прогноз газообильности

го газовыделения для каждого среза рассчитано согласно верхним оценкам (7) по декастрюже для нагрузки, увеличивающейся с 200 т/час до 400 т/час, т.е. в два раза, на моменты времени $\tau=0$, $\tau=9$ и $\tau=18$ суткам. Из анализа графиков получаем следующие выводы.

- Газовыделение растет со временем, однако, темп его роста замедляется. Вероятно, идет его стабилизация по фактору газокинетических свойств пласта – их влияние явно уменьшается.

- Фактор увеличения нагрузки на забой оказывает явно большее влияние на увеличение газовыделения в выработке, чем изменение газокинетических свойств пласта.

- Прогноз по нагрузке в районе 360 т/час на 9-ые сутки начинает “заваливаться”, хотя и не достигает своего максимального значения газовыделения. На 18-ые сутки прогноз продолжает “заливаться” и в то же время переходит свой порог

– максимальное значение газовыделения.

Следует заключить, что использование 3-интегрированного макро-прогноза в данном случае неоправданно, поскольку его инерционность, определяемая периодом обработки данных, превышает динамику газокинетических процессов в пласте. На данном этапе отработки лавы целесообразен переход на мало инерционные 1- и 2-интегрированные макро-прогнозы.

Таким образом, проанализированы 13 параметров картины аэrogазовой обстановки выемочного участка с позиций их использования в качестве факторов прогноза, выявляющих тенденции в ее развитии. Обосновано использование простых квадратичных зависимостей для целей текущего

скользящего прогноза по времени или/и по нагрузке на очистной забой, достаточных для отслеживания темпа параметров картины АГО. Построена процедура скользящего уточнения текущих прогнозов и сформулированы ограничения на период прогноза. Разработаны два типа сценариев прогноза – однофакторный временной прогноз, включающий десять разновременных сценариев прогноза, и двухфакторный по нагрузке и времени, включающий пять сценариев интегрированных прогнозов. Построенные сценарии полностью обеспечивают выявление тенденций в картине аэrogазовой обстановки и их прогнозирование на разную перспективу по времени и нагрузке на очистной забой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Преслер В.Т., Золотых С.С., Стекольщиков Г.Г. Оперативный прогноз газообильности выемочных участков при комбинированном проветривании. – Кемерово: Кузбассвяздат, 2001. – 63 с.

Автор статьи:

Преслер
Вильгельм Теобальдович
- докт.техн.наук, ведущий научный
сотрудник Института угля и углехи-
мии СО РАН, проф. каф. ИиАПС

УДК 550.837:622.02

В.П. Корабельников

ОБ ОЦЕНКЕ ПРОЧНОСТИ ПОРОД ТРУДНООБРУШАЕМОЙ КРОВЛИ ПО ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ ЕЕ СЛОЕВ

В условиях изменяющегося строения кровли необходима доразведка угольного пласта с поверхности или из горных выработок, оконтуривающих подготовляемый к отработке выемочный столб. По результатам доразведки в выемочном столбе можно выделить участки с труднообрушаемой кровлей. Для этого по керну скважин определяется прочность σ_{cjk} пород, слагающих кровлю.

Чтобы уменьшить объем бурения, применяют геофизические методы доразведки. Например, σ_{cjk} оценивают по удельному электросопротивлению (УЭС) ρ породных слоев [1]. Однако для прочных пород погрешность определения σ_{cjk} увеличивается. Оценку σ_{cjk} можно улучшить, если дополнить ρ измерением других геоэлектрических параметров

кровли.

Прочность керновых образцов песчаника связывается с процентным содержанием в породе кварцевых зерен, диаметром D зерна, а также с вещественным составом цемента и его распределением в порах [2]. С изменением D изменяется отношение $S_{sep}/V_{sep} \sim 1/D$. При увеличении D отношение уменьшается, а ρ и σ_{cjk} увеличиваются.

Изменение состава цемента в сторону замещения глинистой компоненты на карбонатную или кремнистую, может повысить прочность породы на 50 % и мало изменит ρ при сохранении пористости. В качестве показателя, учитывающего влияние цемента на σ_{cjk} пород, в данной работе предлагается использовать наблюдаемое в массиве уменьшение УЭС на

начальном участке нагружения породного слоя кровли опорным давлением $\sigma_z > 1.3 \mu H$ при $H > 150$ м.

Уменьшение ρ можно объяснить тем, что в местах контакта зерен породы уже при начальных приращениях $\Delta\sigma_z$ в 5-7 МПа вследствие концентрации напряжений возможны заметные деформации и изменения. Влага – электролит из пояска контакта перераспределяется в соседнюю область поверхности зерна, увеличивая токопроводящую часть поверхности пор породы и уменьшая ее УЭС. При деформации «выдавливание» цемента из промежутка контакта уменьшает кривизну границы жидкости, что также вызывает ее перемещение из малой области контакта зерен.

Для получения экспериментальных зависимостей ρ от σ_z , в