

УДК 622.257.1

**А.А. Шубин**

## **О ПРИЧИНАХ ПРОРЫВА РАСТВОРА ПРИ ТАМПОНАЖЕ ЗОН РАЗУПЛОТНЕНИЯ**

*Показаны основные технологические приемы предупреждения аварийной ситуации при тампонаже пород. Приведено условие устойчивости породного массива за пределами разуплотненной зоны. Получены критерии исключающие прорыв раствора в период тампонажа.*

*Ключевые слова:* тампонаж пород, загружение пород, горный массив.

---

**П**ри нагнетании вязкопластичных растворов в породы разуплотненных зон неглубокого залегания или вблизи горных выработок, подземных сооружений возможны неуправляемые выходы инъекционного раствора как на дневную поверхность, так и в подземный объект. Такое явление повлечет за собой огромные потери тампонажного раствора, и, особенно, оно к тому же вызовет аварийную ситуацию в подземном объекте.

Известно, что для предупреждения разрушения массива пород и выхода тампонажного раствора целесообразно использовать следующие технологические приемы.

1. Создание защитного экрана из цементно-силикатного раствора для предотвращения выхода глиноцементного раствора на поверхность.

2. Управление процессом тампонажа за счет изменения реологии и рецептуры раствора (количество глины, цемента, силиката натрия, наличие специальных добавок).

3. Управление процессом тампонажа за счет ограничения давления нагнетания раствора. При этом условие устойчивости горных пород за пределами разуплотненной зоны при тампонаже записывается следующим образом [1]:

$$P_{np} > P_{pc},$$

где  $P_{pc}$  — рабочее давление тампонажного раствора в скважине, Па;  $P_{np}$  — предельное давление тампонажного раствора, Па.

Для определения  $P_{np}$  воспользуемся моделью, представленной на рис. 1. Рассмотрим данный принцип и будем считать, что массив пород однороден и породы массива упруго-пластичные.

Согласно принятой геомеханической модели разрушение стенок подземного объекта (выработки) произойдет от растягивающих напряжений при плоском изгибе балки [2]. В данном случае линейными размерами балки будут:  $h_{nc}$  — толщина балки (мощность пород по линии наименьшего сопротивления давлению тампонажного раствора на выработку);  $l$  — длина балки (длина раскрепленной зоны горной выработки);  $b$  — ширина балки (ширина раскрепленной зоны горной выработки).

Поэтому на балку действует сосредоточенная нагрузка  $F$ , состоящая из нагрузки  $F_c$  от давления раствора в скважине и нагрузки  $F_{por}$  от веса вышележащих пород:

$$F = F_c + F_{nop} = P_c \cdot S_c + \gamma \cdot H \cdot I \cdot b,$$

где  $S_c$  — площадь скважины, в пределах которой действует разрушающая нагрузка,  $\text{м}^2$ ;  $\gamma$  — объемный вес пород,  $\text{Н}/\text{м}^3$ .

Поэтому при прямом плоском изгибе балки величина максимальных растягивающих напряжений равна [2]:

$$\sigma_p = \frac{M_{H3r}}{W_c} = \frac{1,5 \cdot F \cdot I}{b \cdot h_{H,c}^2},$$

Учтем коэффициент бокового давления горных пород.

$$F = P_c \cdot S_c + \left(1 - \frac{\alpha}{90} \cdot (1 - \lambda)\right) \cdot \gamma \cdot H \cdot I \cdot b,$$

где  $\lambda$  — коэффициент бокового давления пород;  $\alpha$  — угол между вертикалью и направлением действия разрушающей нагрузки, град.

Тогда получаем:

$$\sigma_p = \frac{1,5 \cdot (P_c \cdot S_c + \left(1 - \frac{\alpha}{90} \cdot (1 - \lambda)\right) \cdot \gamma \cdot H \cdot I \cdot b) \cdot I}{b \cdot h_{H,c}^2}.$$

Следовательно, получено уравнение предельного давления тампонажного раствора в скважине:

$$P_c < P_{np} = \frac{b \cdot (\sigma_p^{np} \cdot h_{H,c}^2 - 1,5 \cdot \left(1 - \frac{\alpha}{90} \cdot (1 - \lambda)\right) \cdot \gamma \cdot H \cdot I^2)}{1,5 \cdot I \cdot h_{H,c} \cdot S_c}.$$

Анализ данного уравнения показывает, что предельное давление раствора в скважине зависит, прежде всего, от прочности пород на растяжение за пределами разуплотненной зоны и от геометрических размеров породной балки.

Теперь остановимся на новом принципе управления процессом тампонажа за счет изменения скорости нагнетания раствора, что снижает скорость деформирования пород. Воспользуемся критерием: для каждого материала (горных пород) имеется своя критическая скорость деформирования, если при конкретных условиях загружения пород логарифмическая скорость деформирования, подсчитанная на любой момент времени окажется меньше критической, то разрушения не произойдет [3]:

$$V_{log}^{krit} > V_{log},$$

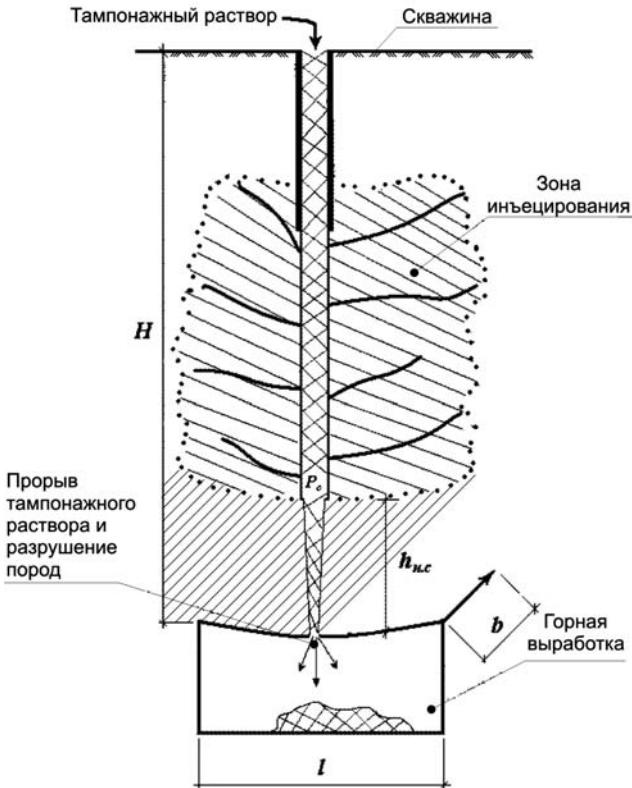
где  $V_{log}^{krit}$  — критическая логарифмическая скорость деформирования пород,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $V_{log}$  — действительная логарифмическая скорость деформирования,  $\text{мин}^{-1}$ .

$$V_{log}^{krit} > \frac{\varepsilon_z}{\lg t}, \quad (1)$$

где  $\varepsilon_z$  — относительная продольная деформация в точке разрушения;  $t$  — время действия нагрузки, мин.

Запишем значение деформации горных пород:

$$\varepsilon_z = \frac{\sigma_p}{E_0}, \quad (2)$$



**Модель разрушения горных пород и прорыва раствора в выработку**

нажного раствора на разуплотненную зону, связанные с ограничением давления и времени инъекции. Данные критерии дополняют друг друга и должны учитываться при проектировании технологических параметров тампонажа разуплотненных зон, что позволит безопасно выполнять работы в условиях активизации геомеханических процессов в горных массивах.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Комплексный метод тампонажа при строительстве шахт / Э.Я. Кипко, П.Н. Должиков и др. — 2-е изд. — Днепропетровск: НГУ, 2004. — 415 с.
2. Шашенко А.Н., Пустовойтенко В.П. Механика горных пород. Учебник для ВУЗов. — Киев: Новый друк, 2004. — 400 с.
3. Технологические последствия закрытия угольных шахт Украины Монография / Под ред. Ю.Н. Гавриленко, В.Н. Ермакова. — Донецк: Норд пресс, 2004. — 631 с.
4. Должиков П.Н., Рябичев В.Д. Исследование деформационных свойств материала засыпки наклонных стволов закрываемых шахт // Технология и проектирование подземного строительства: Вестник. — Донецк: Норд-пресс, 2003. — Вып. 3. — С. 181—186. ГИАБ

#### КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Шубин Андрей Анатольевич — кандидат технических наук, доцент, e-mail: shubinaa\_62@mail.ru, Шахтинский институт Южно-Российского государственного технического университета.

где  $\sigma_p$  — напряжения в точке возможного прорыва раствора, Па;  $E_0$  — модуль общей деформации пород, Па.

Теперь выражение (1) преобразуется к виду:

$$\lg t > \frac{\sigma_p}{E_0 \cdot v_{\log}^{\text{крит}}}. \quad (3)$$

Известно, что, например, для глинистых грунтов критическая логарифмическая скорость деформирования равна  $0,002 \text{ мин}^{-1}$  [4]. Поэтому время нагнетания раствора должно согласоваться с прочностными и деформационными свойствами пород.

Таким образом, выражения (2) и (3) представляют собой соответственно прочностной и кинематический критерии устойчивости пород при контурной части подземных объектов при воздействии тампонажного раствора на разуплотненную зону, связанные с ограничением давления и времени инъекции. Данные критерии дополняют друг друга и должны учитываться при проектировании технологических параметров тампонажа разуплотненных зон, что позволит безопасно выполнять работы в условиях активизации геомеханических процессов в горных массивах.