

УДК 550.822:622.838

## ЛИКВИДАЦИЯ ПУСТОТ СТАРЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ТАМПОНИРОВАНИЕМ

**Феофанов А. Н.**

(УкрНИМИ НАНУ, г. Донецк, Украина)

*Розглядається один із способів ліквідації порожнин старих гірничих виробок шляхом тампонування. Об'єм необхідного тампонажного матеріалу визначається за результатами буріння свердловин на горизонт залягання порожнини. Акцентується увага на використанні відповідних тампонажних розчинів, виходячи з гірничо-геологічних умов.*

*One of the methods for elimination of old mine cavities by plugging is considered. The volume of necessary plugging material is determined by the results of borehole drilling down to the depth of the cavity. Attention is focused on the use of grouting mortars based on mining-geologic conditions.*

Одним из способов борьбы со старыми горными выработками (пустотами), сохранившимися на малых глубинах и представляющими опасность с точки зрения активизации над ними процесса сдвижения породного массива с образованием провалов, является их ликвидация путём тампонажа. Предполагается по возможности полное заполнение свободного пространства тампонажным материалом (пульпой) до кровли выработки, создавая подпор породам кровли, исключая возможность последующих обрушений. Объём необходимого тампонажного материала определяется размерами и состоянием старой выработки (пустая, обрушенная, частично заполненная и т.д.).

На сегодняшний день самым достоверным способом определения состояния старых горных выработок, расположенных на малых глубинах, является бурение контрольных скважин. При

этом возможный объём тампонажного материала можно определить из результатов бурения.

В процессе проведения буровых работ провал бурового инструмента на величину  $l_2$  (рис. 1) свидетельствует о наличии пустоты (купола или свода обрушения). Ускоренная проходка в интервале  $l_1$  с усиленным поглощением промывочной жидкости – о наличии зоны обрушенных (перемятых, разуплотнённых) пород. Таким образом, фиксируемые изменения в работе бурового станка и состояние полученного керна позволяют судить о высотах перечисленных зон и породах, слагающих толщу над выработкой. Это и есть та первичная информация, на основании которой складывается представление о состоянии старой выработки и породного массива, залегающего над ней. Немаловажен вопрос повышения информативности получения такого рода сведений [1].

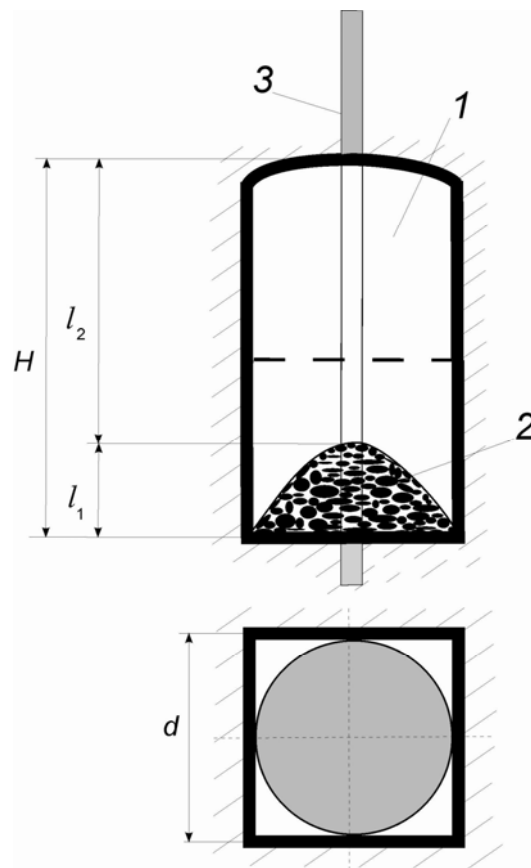


Рис. 1. Схема к определению объёма тампонажного материала для заполнения локальной выработки (пустоты): 1 – пустота (выработка с обрушением), 2 – обрушенные породы, 3 – скважина

Особую ценность такая информация приобретает при проектировании застройки площадок, попадающих в зону влияния старых горных выработок, когда решается вопрос о возможности строительства поверхностных объектов и их дальнейшей безопасной эксплуатации. В настоящее время уже есть определённые наработки в оценке степени опасности той или иной старой выработки, исходя из условий её залегания, состояния и т.п. [2], но природа провалообразования ещё не изучена до конца и на самый важный вопрос: когда же обрушится та или иная выработка, пока нет ответа. Существует парадоксальная ситуация: уже сегодня мы можем приблизительно ответить на вопрос второго плана: выйдет провал на поверхность от той или иной старой выработки или нет, при котором глубина залегания выработки, как фактор, является решающим. Но нет ответа на вопрос: а будет ли развиваться провал вообще над той или иной выработкой когда-либо. Ведь практика в решении таких вопросов показывает, что из того огромного количества пустот, сохранившихся в недрах горно-промышленных районов, лишь небольшая их часть проявляет себя в виде повреждений земной поверхности и то при определённых условиях. А остальные как стояли, так и продолжают стоять и ещё неизвестно (к сожалению) как долго простоят. Другой вопрос, что проявление даже того относительно малого числа старых горных выработок является опасным для поверхности и её объектов.

Поэтому проектировщики не особо доверяют «сырым» расчётам, и, если позволяет финансирование, стараются как можно лучше обезопасить свои объекты, применяя, более дорогие, но надёжные и проверенные способы ликвидации пустот или стабилизации породной толщи. Это относится как к одиночным (точечным) объектам, так и к крупным (протяжённым), оказывающим существенное давление на земную поверхность, подработанную большим количеством выработок на малых глубинах.

Учитывая, что большое влияние на устойчивость подработываемой толщи горных пород оказывает не только наличие пустот, но и повышенная трещиноватость массива, то ведение работ по их тампонажу является действенной мерой и даёт положительные результаты. При этом обеспечивается последующая

безопасная эксплуатация объекта, и даже его повторная обработка по нижележащим пластам. Тампонажные работы заключаются в заполнении трещин и пустот в породах или горных выработках отвердевающими или коагулирующими растворами, в качестве которых могут быть использованы тампонажные растворы на основе цементов, глинистые растворы, расплавленные битумы с присадками, отвердевающие хим. растворы и т.д.

Наиболее важным с экономической точки зрения, особенно в наше время, является вопрос определения необходимого количества самой пульпы (закладочного материала) и её состав, исходя из типа выработки, условий её залегания и состояния массива. Конечно же, идеальным вариантом было бы заполнение одиночной выработки (пустоты) 1 (рис.1) частично заполненной обрушенными породами 2, состояние которой определено по результатам бурения скважины 3.

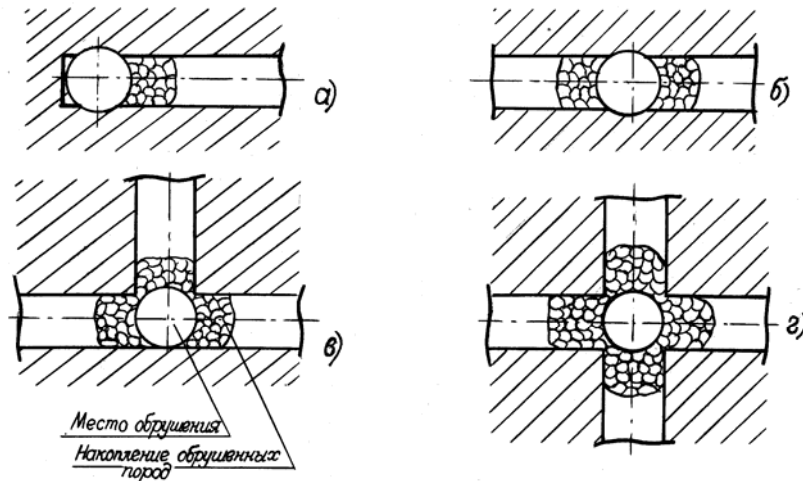
При этом исходным материалом будет являться размер выработки в плане  $d$ , длина вынутаго керна  $H$ , из которого провал бурового инструмента составил  $l_2$ , а ускоренная проходка  $l_1$ . Объём пустоты  $V$ , который необходимо заполнить пульпой определяется как:

$$V = V_1 - V_2, \quad (1)$$

где  $V_1$  – объём пустоты (выработки с куполом обрушения);  
 $V_2$  – объём породы, обрушенной на почву выработки.

На практике такие случаи сохранения одиночных локальных выработок (пустот) почти не имеют место. Как правило, старые подготовительные выработки являются протяжёнными и пересекаются с другими протяжёнными или очистными выработками (рис. 2). И даже при отработке камерным способом всегда есть место для накопления обрушенного материала со стороны прилегающего пространства.

Рассмотрим наиболее характерный случай, когда скважина подсекла старую протяжённую горную выработку, имеющую по обе стороны свободное пространство, с образовавшимся сводом обрушения и накопленным на почве выработки обрушенным материалом (рис. 3).



- а) тупиковая часть шторка, уклона, квершлага;
- б) линейная часть протяжённой выработки;
- в), г) пересечения двух или нескольких выработок, в том числе при камерной системе отработки

Рис. 2. Схемы возможных обрушений протяжённых выработок с накоплением обрушенного материала в свободном пространстве

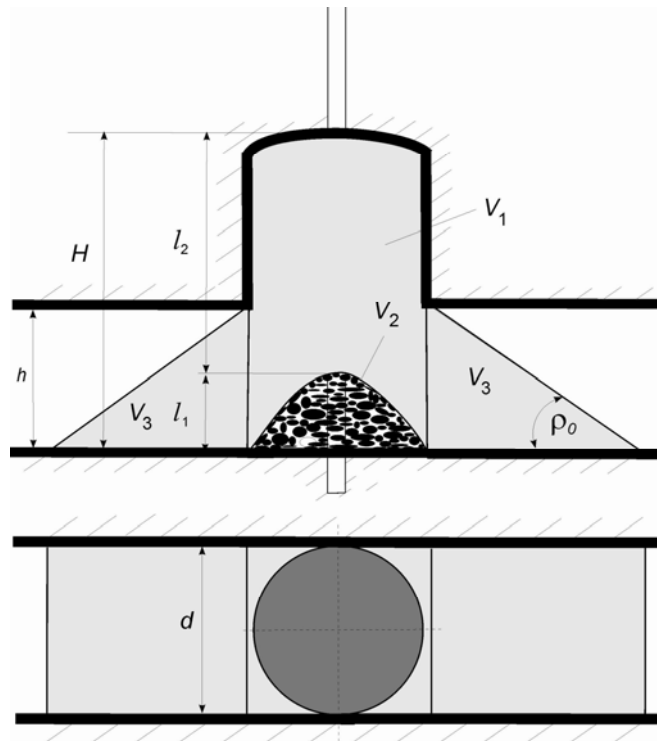


Рис. 3. Схема к определению необходимого объёма тампонажного материала для ликвидации пустоты в протяжённой выработке

Количество необходимого тампонажного материала будет определяться по выражению:

$$V = V_1 + 2V_3 - V_2, \quad (3)$$

где  $V_3$  – количество тампонажного материала, вылившееся в примыкающее пространство под углом естественного растекания пульпы  $\rho_0$  до полного заполнения выработки (пустоты).

При этом  $V_3$  определяется как

$$V_3 = \frac{dh^2}{2} \operatorname{ctg} \rho_0, \quad (4)$$

где  $d$  – ширина выработки, м. При отсутствии данных принимается не более 5 м, как предельная ширина для старых горных выработок;

$h$  – высота старой горной выработки, м. При отсутствии данных принимается не более 3 м, как предельная высота для старых протяжённых выработок.

Объём выработки с сохранившейся над ней пустотой составит:

$$V_1 = d^2 H = d^2 (l_1 + l_2), \quad (5)$$

где  $l_1$  – высота конуса обрушения на почве выработки, м;

$l_2$  – высота пустоты, м.

Объём обрушенной на почву выработки породы

$$V_2 = \frac{1}{3} \pi l_1^3 \operatorname{ctg}^2 \rho, \quad (6)$$

где  $\rho$  – угол естественного откоса обрушенной породы, который по данным [3] зависит, как от литологического состава горной массы, её состояния (сухая, влажная, мокрая), так и времени залегания обрушенной массы на почве выработки. Его значения при этом варьируют от 15 до 40 градусов.

Таким образом, выражение (3) с учётом (4), (5) и (6) примет вид

$$V = d^2 (l_1 + l_2) + dh^2 \operatorname{ctg} \rho_0 - \frac{1}{3} \pi l_1^3 \operatorname{ctg}^2 \rho. \quad (7)$$

Необходимо отметить, что в выражении (3) коэффициент при  $V_3$  будет определяться возможными схемами примыкания свободного пространства, изображёнными на рис. 2 (табл. 1).

Таблица 1

Связь между количеством тампонажного материала и горно-технической ситуацией

Схемы возможных примыканий свободного пространства (по рис. 2)	Количество необходимого тампонажного материала по выражению (3)
а) тупиковая часть протяжённой выработки	$V = V_1 + V_3 - V_2$
б) линейная часть протяжённой выработки	$V = V_1 + 2V_3 - V_2$
в) т-образные пересечения протяжённых выработок	$V = V_1 + 3V_3 - V_2$
г) пересечения двух протяжённых выработок, в том числе при камерной системе отработки	$V = V_1 + 4V_3 - V_2$

Ситуация осложняется с увеличением угла падения породной толщи, когда появляется возможность перетекания тампонажного раствора в свободное пространство по падению. В этих условиях трудно рассчитать объём необходимого тампонажного материала, особенно при круто-наклонном и крутом залегании пластов. Сам процесс провалообразования при этом имеет свои характерные особенности [4], в связи с чем увеличивается вероятность перерасхода тампонажного материала в несколько раз.

До последнего времени цементные растворы являлись единственным тампонажным материалом, применяемым в этих условиях, и нагнетаются только до начала их схватывания. Для необходимости ускорения твердения цементного раствора при выполнении тампонажных работ применяют быстросхватывающиеся цементы или добавляют к обычным цементам 3% хлористого кальция от веса цемента. Такие растворы (с 3% добавкой) по

сравнению с обычным имеют в 1,7 раза меньше сроки начала и конца схватывания и более высокую прочность.

При цементации трещиноватых горных пород применяют чистые цементные растворы, обеспечивающие лучшее качество, наибольшую прочность и однородность цементного камня. Концентрация чистых цементных растворов (цементно-водное отношение) принимается в пределах от 1:2 до 1:4. При крупной трещиноватости горных пород (свыше 5 мм) применяют цементы грубого помола марки 300 или цементно-песчаные растворы на обычном цементе. Для цементации трещиноватых пород подработанного массива максимальное давление тампонажного раствора должно превышать гидростатическое давление (на 2-3 атм. и выше) в месте расположения скважины.

Немаловажную роль на последующую устойчивость самого тампонажного материала в массиве оказывают подземные воды. В зависимости от агрессивности подземных вод применяют следующие виды цементов:

- при сульфатной агрессии – сульфатостойкие портландцементы и шлаковые цементы;
- при кислотной агрессии – глинозёмные цементы.

В тех случаях, когда отложения карбона перекрыты значительной толщей обводненных песков, гравелистым слоем, трещиноватым мелом и другими водосодержащими породами, целесообразно своевременно применять тампонирование водосодержащих слоёв. Водосодержащие породы, дренируя воду, могут привести к значительному снижению устойчивости горных пород подработанной толщи, что способствует возможности возникновения воронок обрушения. Так, на шахте «Степная» ПО «Павлоградуголь» при перекреплении выработок по пл.  $c_6$ , пройденных у верхней границы безопасного ведения горных работ под плывунами на глубине 27 м (по карбону) в зоне мелкоамплитудной нарушенности, произошло обрушение пород кровли. Его размеры по длине штрека составили 12 м, по высоте 7 м. Из обрушенного пространства начала поступать вода с притоком  $10 \text{ м}^3/\text{ч}$ . После уборки породы произошло вторичное обрушение кровли свода до высоты 12 м и увеличением завала штрека ещё на 7 м, вызвавшее обрушение вышележащего угольного пласта  $c_6$  и пород его кров-



ли с увеличением максимального свода обрушения до 17 м и длины вывала по оси штрека до 26 м. Общий объём обрушившейся породы достиг  $450 \text{ м}^3$  с увеличением притока воды до  $35 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Поступающая вода размывала обрушившиеся горные породы, вызывая их дальнейшее обрушение и создавая угрозу прорыва плывунов, мощность которых составляла 21 м. Обычно применяемые меры (установка рам из двутавровых балок, применение деревянных шпал, возведение костровой крепи и т.п.) не дали положительных результатов. Было принято решение произвести тампонаж воронки обрушения. Для этого были сооружены две бетонные перемычки, изолирующие горные выработки от аварийного участка, и закачан цементный раствор. Состав раствора (цемент, песок, вода) был принят в соответствии 1:1:1. Всего было закачано  $615 \text{ м}^3$  раствора.

Однако, как показал опыт, цемент не всегда удовлетворяет современным требованиям, предъявляемым к тампонажным работам, а тампонирующее с целью гидроизоляции крупных трещин и пустот цементным раствором не всегда достигало цели. Усовершенствованием способа тампонирувания горных пород явилась разработка сложных глинисто-цементных растворов.

Результатами научно-исследовательских работ, выполненных ИГД им. Скочинского по тампонируванию обводнённых горных пород, было установлено, что высокая дисперсность глины позволяет растворам проникать в более мелкие трещины и поры по сравнению с цементным. Глинисто-цементные растворы особенно эффективны при тампонирувании трещин с шириной раскрытия от 0,1 мм и более. Глинисто-цементный камень менее водопроводен, чем камень цементных растворов.

По данным ПО «Спецтампонажгеология» (СТГ) глинисто-цементные растворы могут иметь следующее содержание составных компонентов: глина комковая 25-45 %, цемент – 8-10 %, жидкое стекло 0,8-1,0 %, вода 45-65 %. Для тампонажных целей в глинисто-цементных растворах применяются каолиновые глины Дружковского месторождения (Донбасс). Используемые цементы должны иметь марку не ниже «400». Цементно-глинистые растворы для тампонажных работ используют преимущественно для тампонажа пород на площадях без вторичной их подработки,

вследствие неоднородности тампонажного камня и сравнительно низкой его прочности.

Буровые и тампонажные растворы на самом деле являются не растворами, а дисперсными системами и чаще суспензиями глины или цемента в воде, свойства которых зависят от качества исходных материалов, состава и технологии приготовления. Большое влияние на свойства буровых и тампонажных растворов оказывают добавки. Их влияние различно: одни изменяют вязкость, другие — реологические свойства, третьи — структуру и прочность и т. д. Большинство добавок влияет сразу на ряд свойств, часто, улучшая одни, ухудшая другие. С изменением концентрации добавок их влияние изменяется не только количественно, но иногда качественно.

СТГ разработаны и применяются новые, универсальные в широком диапазоне гидрохимизма подземных вод глиноцементные тампонажные растворы, обладающие высокой проникающей способностью, надежными водоизоляционными свойствами и долговременной коррозионной устойчивостью. Растворы на 89 % состоят из высокоплотного глинистого раствора, и на 11 % из цемента или отходов обогатительного производства и добавок структурообразователей. Они позволяют экономить большое количество дефицитных дорогостоящих марок цемента.

В отличие от цементных, такие растворы не вымываются подземными водами из крупных трещин и карстов, не осаждаются, не твердеют в движении, быстро приобретают пластическую прочность после прекращения движения, остаются пластичными, не растрескиваются при взрывных работах и подвижках горных пород. Свойства тампонажных растворов в широких пределах регулируются типами добавок вяжущих и структурообразователей. Положительные качества этих растворов обеспечивают надежность водоизоляционных завес на протяжении всего срока службы тампонируемого объекта для условий пресных, термальных и низкотемпературных вод, а также для агрессивных сред с хлор-натриевой, сульфатной, магниевой и сульфатно-сероводородной агрессией.

### **Выводы:**

1. Ликвидация пустот старых горных выработок путём их тампонирувания остаётся на сегодняшний день наиболее эффективным и доступным способом предотвращения возможной активизации процесса сдвижения.

2. Объём тампонажного материала, необходимого для ликвидации пустоты, при пологом залегании толщи можно определить из результатов бурения скважин на горизонт залегания старой выработки.

3. Состав применяемого бурового и тампонажного раствора во многом определяется гидрогеологической и горнотехнической ситуацией массива и в широких пределах регулируется вяжущими и структурообразующими добавками.

### **СПИСОК ССЫЛОК**

1. Гавриленко Ю.Н., Юшков А.С. Пути повышения информативности бурения инженерно-геологических скважин на участках, подработанных горными выработками // Сборник научных трудов ДонГТУ, Серия горно-геологическая. Вып. 11.- Донецк: ДонГТУ, 2000. – С. 103-107.
2. Феофанов А.Н. Обоснование параметров учёта старых горных выработок на малой глубине для охраны поверхностных объектов: Автореф. дис... канд. техн. наук. – Донецк, 2003.
3. Справочник горной промышленности. Горная энциклопедия. – <http://www.miningexpo.ru/useful/172>.
4. Питаленко Е.И., Феофанов А.Н., Ермаков В.Н. Особенности развития повреждений земной поверхности при крутом залегании пластов // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. № 1.- Донецьк. - 2007.- С. 146-157.