

ОБРАЩЕНИЕ С ЗОЛОШЛАКАМИ**3.5. Направления применения золошлаков энергетических углей****3.5.5. Заполнение шахт, горных выработок и рекультивация карьеров****3.5.5.1. Использование летучей золы и шлака электростанций при производстве горных работ в****Польше**

Ян Паларски, Силезский технологический университет, Гливице, Польша; Артур Заяц, UTEX, Рыбник, Польша

АННОТАЦИЯ

В последние годы в польской угольной промышленности особое внимание уделяется вопросам защиты окружающей среды. При разработке угольных шахт необходимы капитальные и эксплуатационные затраты для размещения продуктов сжигания угля (ПСУ) и шахтных отходов на отвалах. На этих отвалах (свалках) польских угольных шахт размещаются вскрышные породы, гидравлически или пневматически перемещенный сюда щебень, а также уплотненные и сцементированные летучая зола и продукты обессеривания дымовых газов. В последние десять лет основное внимание было сфокусировано на подземных хранилищах шахтных отходов и использовании ПСУ для заполнения и укрепления сводов подземных выработок в районах с обрушением кровли. Такие мероприятия предназначены для предотвращения проседаний почвы, для улучшения вентиляции горных выработок во избежание спонтанных возгораний угля и сохранения проходимости шахтных штреков. Использование летучей золы, шахтных отходов, связующих элементов и воды в качестве цементирующей массы при укреплении кровли шахтных выработок в областях их обрушения оказало большое влияние на ведение горных работ на польских угольных шахтах. Продукты сжигания угля сильно отличаются по своему минералогическому и химическому составу в зависимости от типа угля, технологии сжигания и метода десульфуризации. Такая изменчивость свойств ПСУ ТЭС сказывается на широком разбросе механических свойств закладочных смесей, изготавливаемых из этих отходов, а затем и на различных возможностях их использования в технологиях производства горных работ. В угольных шахтах обычно встречаются два вида условий: влажность, характерная для угольных шахт, и обводненность, что создает экстремальные условия для затвердевания суспензии летучей золы и воды. В докладе дается краткое описание технологий производства горных работ, в которых используются ПСУ.

1. ВВЕДЕНИЕ

При производстве всех видов подземных горных работ образуются отходы. Отходы, которые не перерабатываются, размещаются на отвалах или в местах их хранения (свалках), в основном находящихся на поверхности земли. Отвалы оказывают отрицательное воздействие на окружающую среду, выделяя загрязняющие вещества, попадающие в воздух, почву, грунтовые и поверхностные воды. Потенциально опасными для окружающей среды оказываются отходы электроэнергетики, что связано с их большими объемами.

Последние годы в польской угледобывающей промышленности стало обычной практикой все возрастающее использование отходов угольных ТЭС. На это указывает процентное количество отходов ТЭС, используе-

мых в добывающей промышленности, в общем объеме их образования в стране. Например, в 2004 г. использование этих отходов в горных выработках возросло с 88,7 до 92,1 %. Распределение видов отходов, использованных при проведении подземных горных работ на польских угольных шахтах в 2005 г., показано на рис. 1. Использование польской угледобывающей промышленностью летучей золы и ее смесей с продуктами десульфуризации топочных газов в период с 2002 по 2006 гг., показано на рис.2. В период 2005—2006 гг. работали 33 подземные угольные шахты, в которых добывалось около 95 млн т угля в год. В среднем за год польские угольные шахты используют почти 2,5 млн т ПСУ на ТЭС.

Использование польской угледобывающей промышленностью летучей золы и ее смесей с продуктами десульфуризации топочных газов в период с 2002 по 2006 гг., показано на рис.2. В период 2005—2006 гг. работали 33 подземные угольные шахты, в которых добывалось около 95 млн т угля в год. В среднем за год польские угольные шахты используют почти 2,5 млн т ПСУ на ТЭС.

Около 96 % подземной добычи угля в Польше производится с помощью методов длинного забоя. В результате такой технологии добычи наблюдается оседание поверхности. За последние несколько лет в связи с повышенным вниманием к вопросам экологии возросли возражения против складирования отходов в отвалах и свалках на поверхности земли. Особенно это коснулось ПСУ угля и шахтных отходов. По этим причинам, а также из-за проседаний грунтов в районах угледобычи получило распространение заполнение шахтных пустот. В качестве заполнителей в подземные выработки помещают пустую породу, отходы углеобогащения (шлам), летучую золу, шлак, продукты десульфуризации дымовых газов и загрязненные шахтные воды.

Летучие золы очень различаются по своему минералогическому и химическому составу в зависимости от вида сжигаемого угля, технологии сжигания и метода десульфуризации топочных газов. По этим причинам для определения новых методов использования продуктов сжигания угля требуется проведение широкого спектра исследований с использованием смесей, включая сами эти продукты, различные связующие агенты и другие добавки. Целью этих исследований является получение удовлетворительных свойств и характеристик затвердевающих суспензий, соответствующих требованиям технологий и условиям применения.

2. ТЕХНОЛОГИИ ПОДЗЕМНЫХ РАЗРАБОТОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛЕТУЧЕЙ ЗОЛЫ

На рис. 3 приведен перечень технологий подземных горных работ, в которых используются ПСУ. Наиболее часто используемым видом отходов ТЭС в этих технологиях является, пре-

жде всего, летучая зола обычно в виде ее взвеси в воде. Указанные на рис. 3 технологии существенно отличаются по частоте или масштабам своего использования, а также по виду и объемам отходов ТЭС, которые могут применяться для такого использования.

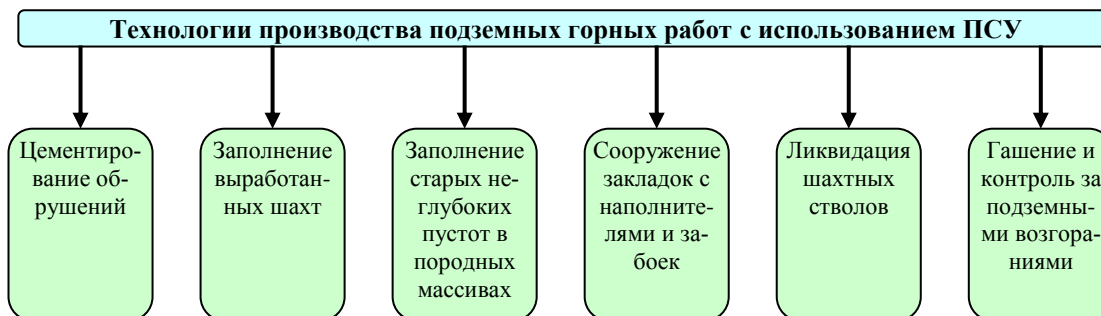


Рис. 3. Технологии производства подземных горных работ с использованием продуктов сжигания угля

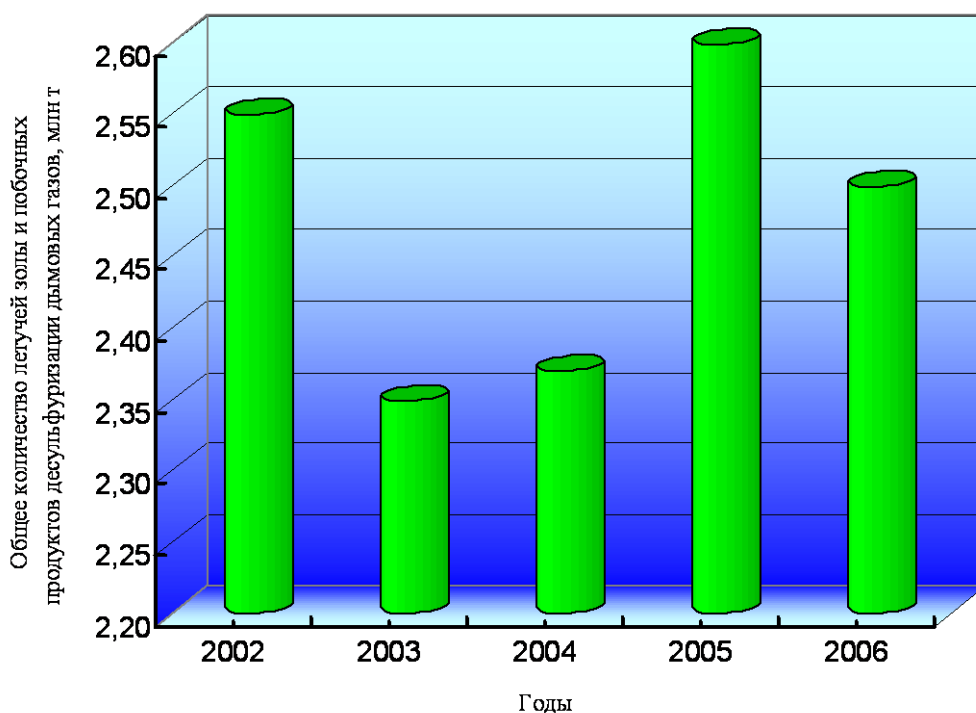


Рис. 2. Количество летучей золы и побочных продуктов десульфуризации дымовых газов, использованных на шахтах в 2002—2006 гг. [5]

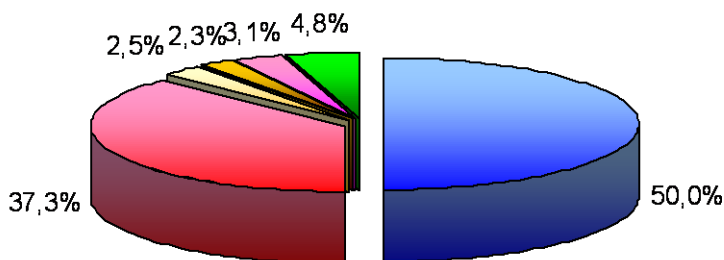


Рис. 1. Процентное распределение различных видов отходов, использованных при подземных горных работах на угольных шахтах в 2005 г. [3]
 50 % — смесь летучей золы и отходов десульфуризации,
 37 % — угольная зола,
 4,8 % — другие виды отходов,
 3,1 % — отходы угледобычи,
 2,5 % — смесь золы и шлака котлов с жидким шлакоудалением
 2,3 % — шлаки котлов.

2.1. Закрепление обрушений

Наиболее широко распространенной технологией в польской угледобывающей промышленности с использованием ПСУ является цементация сводов шахтных выработок. Значительная часть летучей золы, потребляемой угольными шахтами, как раз используется в работах по цементации. Доминирующей системой горных работ в польских угольных шахтах являются системы длинных забоев, которым свойственны обрушения. При этом важно, что пустоты, которые образуются в результате добычи угля, остаются после этого без опор. Это приводит к отрыву и падению породы кровли и последующему оседанию надшахтных грунтов. В результате обрушений образуется объем, который состоит из породы, остатков угля и воздушных пустот, в которых могут накапливаться взрыво- и пожароопасные газы. Предотвращение образования таких пустот является основной задачей закрепления сводов горных выработок. На рис. 4 представлена схема одного из вариантов такой технологии. Необходимая для этого инфраструктура состоит из двух основных частей: установки для подготовки суспензии, расположенной около шахтного ствола и системы транспортных трубопроводов, которая поставляет суспензию от установки для ее подготовки ко всем местам использования. Выходы из трубы-хвостовика установлены в местах обвалов. Часто хвостовик оборудуется перегородками, которые позволяют перекрывать ненужную часть выходов и защищают переднюю часть длинного забоя от попадания цементирующей суспензии. Поступление суспензии летучей золы и воды в такой системе проходит под действием силы тяжести, а поэтому характеристики и эффективность транспортной системы зависят в основном от геометрии трубопровода.

Распространенность такой технологии связана с простотой необходимого оборудования, невысокими требованиями к свойствам цементационного раствора, и теми выгодами, которые шахты получают в результате цементации. Дополнительными целями цементации являются:

- Снижение естественной опасности возникновения пожара, которую могут создавать остатки угля в обрушениях за фронтом длинного забоя,
- Улучшение вентиляционных условий в выработках в результате снижения потерь воздуха при его проходе через обрушения.

В качестве вторичных выгод от укрепления сводов горных выработок с помощью суспензии летучей золы и воды можно также упомянуть возможность использования шахтных отходов – соленых грунтовых вод и хвостов флотации, а также более быстрое повторное укрепление зоны каменной кладки, что является важным фактором, например, при извлечении толстого угольного пласта слоями.

В качестве цементационного раствора при креплении обвалов угольной шахты используют водозоловую пульпу с относительно низкой концентрацией золы. Наиболее важными из механических свойств наполнителя являются хорошие гидравлические условия в обрушениях и способность пульпы заполнять даже малые пустоты.

Успешная закладка пустот и высокая производительность работ при этом с наименьшими затратами достигаются в следующих случаях:

- пласты с углом падения $5...10^\circ$ и толщиной $2,0...2,5$ м;
- породы кровли с хорошим дроблением и обычным обрушением;
- длинные забои: ширина $200...220$ м, работа вверх и под углом и с цементацией от дальнего трубопровода.

На рис. 5 показано развитие оседания поверхностных грунтов над длинным забоем с закладкой выработок и над длинным забоем с обрушением сводов. Видно, укрепление сводов выработок способствует снижению проседаний поверхности примерно на 50 %. Традиционное заполнение выработок снижает способность к поверхностной деформации примерно на 70...80 %, т.е. оказывается лучше метода крепления обрушений.

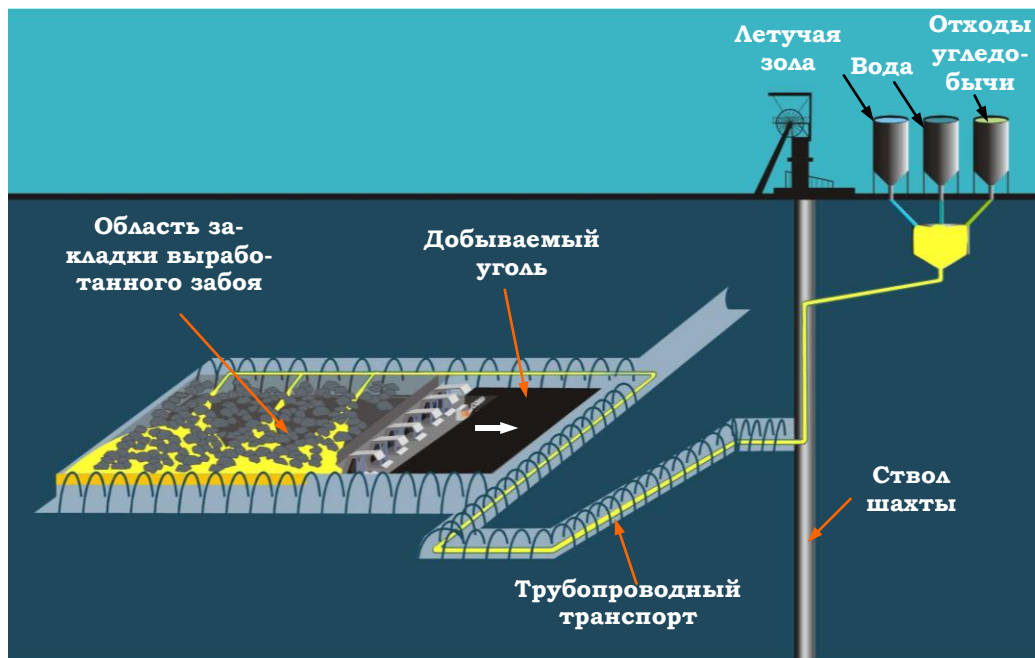


Рис. 4. Схема типичной технологии предотвращения обрушений за фронтом длинного забоя

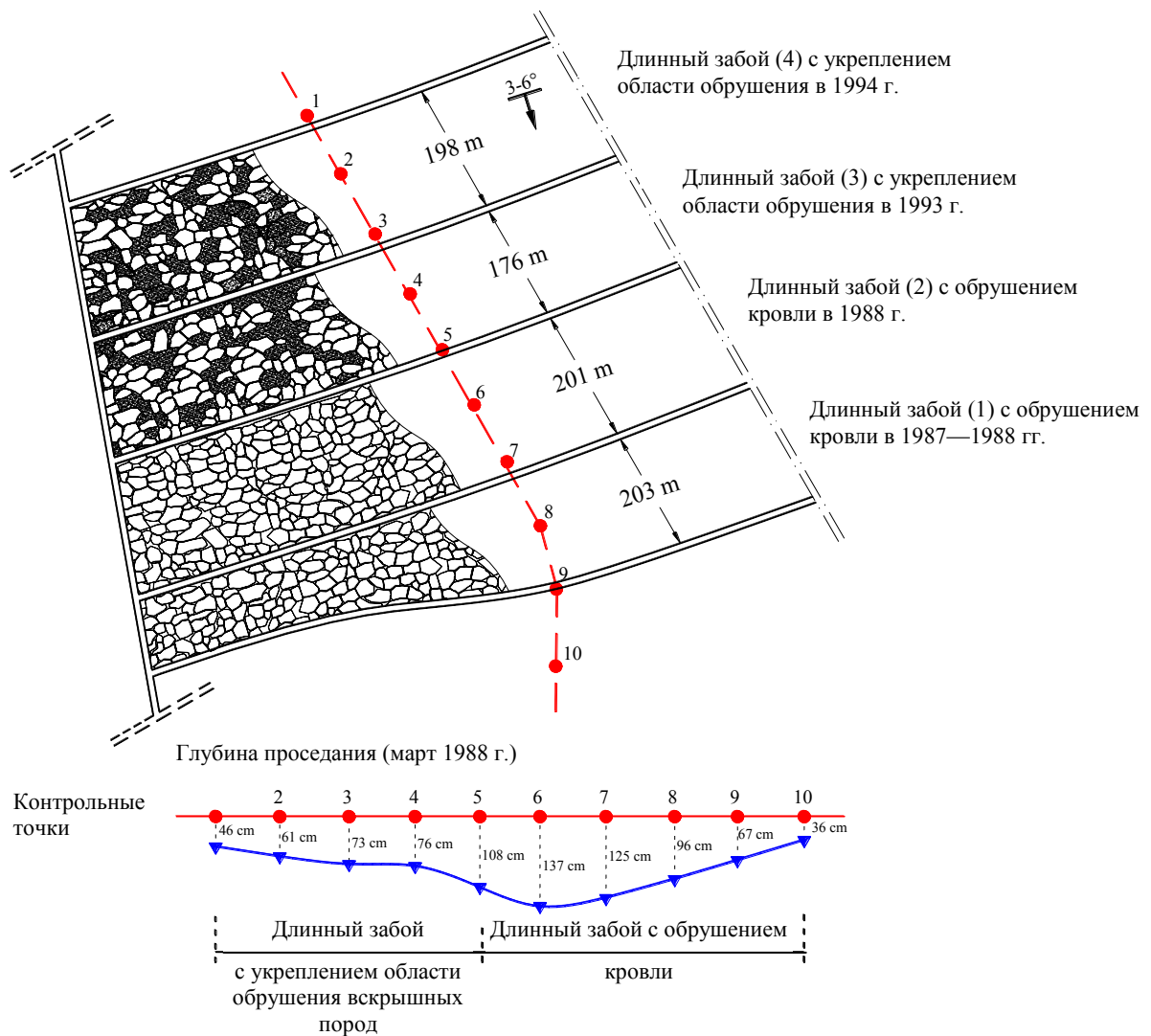


Рис. 5. Проседание поверхности над шахтами при добыче угля с обрушением кровли (длинные забой №1 и №2) и с укреплением области обрушений (длинные забой №3 и №4); толщина пластов — 2,01...2,10 м, глубина забоев — 480...532 м

2.2. Заполнение старых неглубоких шахтных пустот в породном массиве

Старые и неглубокие выработки представляют большую опасность для зданий, инфраструктуры и людей. Для ее предотвращения выработки глубиной до 100 м заполняются через колодцы или снижается поверхностная нагрузка. Однако имеется опасность поверхностного оседания вследствие существования более глубоких выработок по сравнению с указанной величиной. Для исключения поверхностных эффектов, снижения опасности выброса газов и предупреждения возникновения подземных пожаров все неглубокие выработки в старых шахтах должны заполняться закладочными материалами. Не все выработки могут быть доступными от мест проведения других подземных горных работ, а поэтому существует необходимость бурения закладочных колодцев с поверхности (рис. 6). Они располагаются так, чтобы было достижимым наилучшее заполнение пустот, и можно было избежать внезапного прорыва воды, иначе вокруг этих колодцев могут возникнуть обрушения. Заполнение пустот проводится через буровые колодцы диаметром 120...200 мм с использованием следующих методов:

- пневмотранспорт сухой летучей золы с расходом до 30 т/ч и давлением около 0,25 МПа;
- пневмотранспорт сухой летучей золы, увлажняемой на выходе водой в количестве до 20 л/мин.;

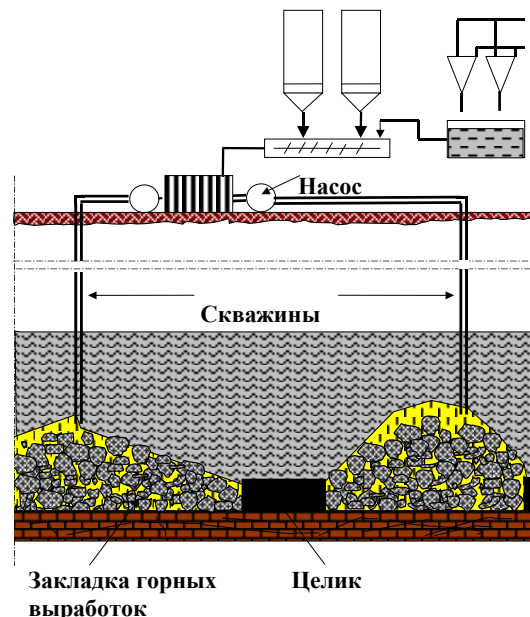


Рис. 6. Технология закладки горных выработок с помощью поверхностных скважин

- подачей под действием силы тяжести или посредством насоса водозоловой пульпы или смеси золы (до 70 % по сухой массе), шлама (до 25 %), цемента (до 10 %), и хлорида кальция (2 %) — концентрацию смеси следует устанавливать каждый раз в соответствии с состоянием и условиями заполнения пустот (концентрация смеси < 75 % по сухой массе).

2.3. Использование ПСУ для заполнения заброшенных шахт

Планирование закрытия шахты необходимо для прекращения действия подземных установок, управления водяной и газовой системами, поверхностными установками и инфраструктурой, для восстановления местной экосистемы и решения всех местных вопросов, связанных с закрытием шахты (т.е. социально-экономических вопросов). Ответственное закрытие подземной шахты включает:

- удаление стационарной установки, оборудования и опасных материалов,
- герметизацию и заполнение отверстий,
- стабилизацию областей обрушения и подготовку породы для заполнения,
- обеспечение работы устройств удаления и складирования отходов,
- восстановление местной экосистемы
- создание системы мониторинга, необходимого для исключения загрязнения воды и выбросов газов.

В последние годы проведены исследования по стабилизации породных массивов, заполнению подземных горных выработок шламами и другими отвальными отходами. В качестве заполнителей, заглушек и инъекционных материалов на активной и пассивной стадиях закрытия шахты используются ПСУ (рис. 7).

За время существования шахты бурится большое число скважин (разведочных, дренажных, вентиляционных и др.). Главным назначением герметизации при за-

крытии скважин является прекращение загрязнения грунтовых вод и предотвращение выброса газов. Золошлаковая пульпа выполняет роль герметизирующих материалов и заполнителей.

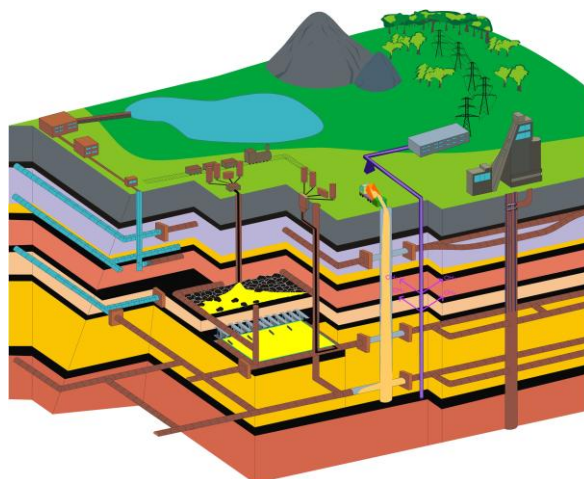


Рис. 7. Процесс заполнения шахты

В состав герметизирующих суспензий входят разбухающая в воде глина, а также заполнители типа летучей золы и другие компоненты. Эти компоненты смешивают с водой и в виде пульпы закачивают в скважину.

Брошенные стволы шахт либо заполняются, либо их оставляют без каких-либо заполнителей с тем, чтобы использовать для откачки дренажных вод. Перед заполнением ствола шахты необходимо удалить все оборудование, направляющие, кабели, канаты, трубы или лестницы, а околоствольные двory должны быть подготовлены для сооружения установки по заполнению ствола, размещению заполнителей и материалов для заглушек, выявления зон обрушения (рис. 8).

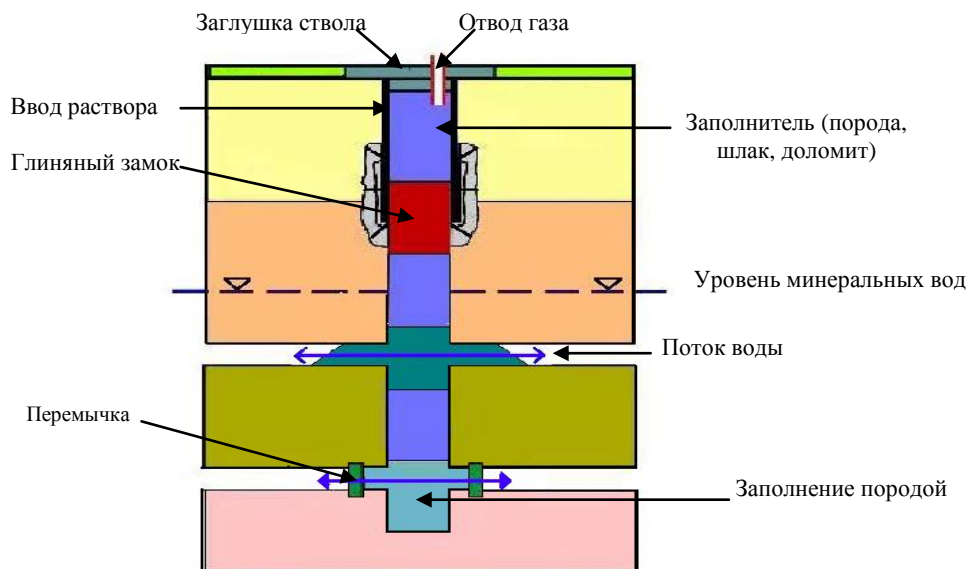


Рис. 8. Ствол шахты после заполнения

Для заполнения части шахтных стволов или приемных колодцев, близких к поверхности, рекомендуются щебень или шлак. Остальная часть ствола может заполняться шахтными отходами, а также строительным ломом (битым кирпичом или дробленным бетоном) и продуктами сжигания угля (золой и шлаком). Если вода или газ могут поступать в ствол шахты, то необходимо подготовить герметизирующую изоляцию из глины или бе-

тона (цемента и летучей золы). Ее толщина и глубина расположения зависят от геологических условий в стволе шахты, технического состояния ее крепления и материала, используемого для ее заполнения и конструкции уплотнения. Герметизация сверху представляет собой окончательную операцию по закрытию шахты.

3. Выбор смеси для заполнения

Изменчивость химических и минералогических свойств отходов производств электроэнергии определяет и различные механические свойства стабилизированных смесей, а, кроме того, и разные возможности их использования в шахтных технологиях. Во многих технологиях подземных шахтных работ (забойки и закладки при заполнении, ликвидация отработанных разработок и т.д.) необходимо использовать дополнительные связующие материалы в смеси с продуктами сжигания угля, что имеет целью получение удовлетворительных значений основных параметров после затвердевания закладочных смесей.

Кроме того, на химические и минералогические свойства отходов производств электроэнергии и на механические характеристики стабилизированных мелкозернистых смесей большое влияние оказывают условия их твердения: температура, влажность и агрессивность по отношению к окружающей среде. Параметры мелкозернистых смесей определяются при испытаниях, проводимых в широком интервале их изменения, как это предписано польским стандартом PN-G/11011:1998: „Матери-

алы для стабильной обратной засыпки и цементации каверн и пустот – требования и методики испытаний”. Параметры, которые должны обеспечиваться согласно упомянутому выше стандарту, можно легко разделить на три группы:

- свойства, которые влияют на условия течения взвеси в трубопроводе при ее транспортировке – это плотность, разброс по концентрационному составу, реологические свойства взвеси;
- свойства, которые описывают процесс стабилизации взвеси – время выступления цементного раствора на поверхности, время схватывания, время полного затвердевания;
- свойства уже стабилизированного материала для заполнения – прочность на сжатие, сопротивление выдержке и водопроницаемость.

В таблице 1 показаны типичные пределы изменения наиболее важных параметров смесей при использовании отходов производства электроэнергии (т.е. от ТЭС) в технологиях для заполнения подземных горных выработок.

Таблица 1. Критерии для использования продуктов сжигания угля в технологиях, связанных с подземными горными работами

Технология	Параметр							
	Разброс по концентрационному столу R, мм	Время схватывания C _t , дни	Окончание скрепления T _k , дни	Прочность на сжатие R _c , МПа	Сопротивление выдержке R ₂₈ , %	Выход жидкости w _n , %	Сжимаемость S, %	Проницаемость K, м/с
Стабильное заполнение	160...180	< 1	< 2	0,5 после 7 суток	< 20	< 7	< 15	< 10 ⁻⁷
Цементация обрушений	210...250	- *	< 28	0,1 после 28 суток	< 80	< 14	- *	< 10 ⁻⁷ (10 ⁻⁹ **)
Заполнение отработанных горных разработок	160...210	< 7	< 14	0,5 после 28 суток	< 20	< 7	- *	- *
Сооружение пространств и забоек для заполнения	160...180	< 2	< 2	0,5 после 7 суток	< 20	< 7	< 5	< 10 ⁻⁷
Изоляция от пожаров, включая сооружение защитных противовзрывных перемычек	160...210	- *	< 28	0,1 после 28 суток	< 20	< 14	< 5	< 10 ⁻⁸
Ликвидация стволов шахт – изолирующие перемычки	160...180	< 2	< 3	0,5 после 7 суток	< 10	< 7	< 5	< 10 ⁻⁹
Ликвидация шахтных стволов – заполнение шахты	160...180	- *	< 28	0,1 после 28 суток	< 80	< 7	- *	- *
Цементация сыпучих или пористых горных пород	160...210	- *	< 14	0,5 после 28 суток	< 20	< 7	< 7	< 10 ⁻⁷

* — отсутствие конкретного значения не означает, что в результате конкретных технологических требований возникнут какие-либо ограничения

** — цементация при особых условиях

4. Продукты, основанные на летучей золе, для подземных шахт

Польские компании разработали основанные на летучей золе продукты для подземных горных разработок. Все эти продукты являются пуццоланом, а это означает, что они реагируют с известью, образуя гидраты силиката. Подготовка компонентов и процесс производства регулируются так, чтобы обеспечивались высокие характеристики (прочность и долговечность). Рентабельные продукты, применяемые при сооружении подземных шахт из торкретбетона, используются также для запол-

нения и крепления шахтных выработок. Торкретбетон перекачивается на большие расстояния и используется влажным в распыляемом виде. Цементационный раствор для закладки находится в виде жидкого теста и состоит из летучей золы, шлама или тяжелых фракций и специальной смеси связующих веществ и воды. Стойкость к большим нагрузкам и низкое сжатие опор из цементационного раствора делают их хорошим конкурентом деревянным опорам.

5. Заключение

В докладе рассмотрено применение побочных продуктов сжигания угля в польской угледобывающей промышленности. Приведенные данные показывают, что польские угольные шахты потребляют в среднем почти 2,5 млн т отходов ТЭС в год. Благодаря своим выгодным физическим и химическим свойствам, ППСУ широко используются как материалы для заполнения и укрепления шахтных выработок преимущественно в виде водозоловой пульпы, а в некоторых новаторских применениях — в смеси с цементом и другими добавками, которые позволяют улучшить вяжущие способности взвеси. Для заполнения шахтных пустот используются ППСУ в тех случаях, когда выгодно транспортировать большие объемы пульпы с минимальными затратами и отсутствуют ограничения по способу транспортирования к физическим свойствам материалов.

Существует несколько технологий, в которых состав смесей для заполнения шахтных выработок должен выбираться в результате комплексных исследований физических и химических свойств различных видов ППСУ, вяжущих материалов и других добавок, а также измерения концентрации твердых веществ в смеси. Причем все эти свойства должны соответствовать требованиям технологии в том, что касается долговечности, механической прочности, водонепроницаемости и др.

Различия в химических и минералогических свойствах продуктов сжигания угля разных ТЭС, а также обусловлен-

ные технологиями сжигания углей или десульфуризации дымовых газов, вынуждают проводить точный выбор материалов для каждого конкретного применения. Это позволяет также находить наиболее приемлемые виды отходов для каждого конкретного применения.

При повышении спроса различных отраслей промышленности на определенные виды ППСУ, угольные шахты могут столкнуться с отсутствием этих отходов для заполнения и укрепления горных выработок, особенно в случае спроса на большие объемы, требуемые при крупномасштабных применениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Palarski J.**, “Design and use of backfill for support in Polish coal mines”. 6th International Symposium on Mining with Backfill. Minefill 98, pp. 139—147, Brisbane September 1998.
2. **Palarski J.**, Selection of a fill system for longwall in coal mines. 8th International Symposium on Mining with Backfill. Minefill 04, Beijing, September 2004.
3. **Popczyk M.**, Underground placement of coal combustion waste. Doctor thesis. TU Gliwice 2002.

Ян Паларски, Артур Заяц. Использование летучей золы и шлака электростанций при производстве горных работ в Польше // Материалы II научно-практического семинара «Золошлаки ТЭС: удаление, транспорт, переработка, складирование», Москва, 23–24 апреля 2009 г. — М.: Издательский дом МЭИ, 2009. С. 73 – 79.