

К.С. Коликов, И.Э. Мазина, А.Г. Урузбиева

ЗАКЛАДКА ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА КАК СПОСОБ СНИЖЕНИЯ НЕГАТИВНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ УГЛЕДОБЫЧЕ*

Применение технологии подземной добычи угля отличается значительным негативным воздействием, связанным в первую очередь с изменением напряженно-деформированного состояния. Разгрузка газонасыщенного углепородного массива приводит к интенсивному газовыделению в горные выработки, создавая опасность взрывов в шахтах. Одним из эффективных способов управления напряженно-деформированным состоянием является закладка выработанного пространства. Рассмотрены виды закладки выработанного пространства, их достоинства и недостатки, выделены перспективные задачи этого направления, с точки зрения влияния на экологические последствия.

Ключевые слова: газовыделение, напряженно-деформированное состояние, управление кровлей, закладка выработанного пространства, гидравлическая закладка, пневматическая закладка, комбинированная закладка, твердеющая закладка, самоотрабатывающая закладка, механическая закладка.

Подземная разработка угольных месторождений отличается высоким техногенным воздействием на все элементы окружающей среды.

Основными показателями, определяющими уровень воздействия, являются:

- объемы извлекаемых пород;
- объемы извлекаемых шахтных вод и нарушение гидрологического режима;
- объемы извлекаемого метана.

Сдвигение массива в результате выемки горных пород приводит к нарушению его газового и гидравлического состояния. Разгрузка углепородного массива приводит к значительным выделениям в горные выработки газа и воды. Для обеспечения нормальной работы требуется удаление из шахты этих компонентов, что требует значительных энергозатрат и оказывает негативное воздействие на экосистему. Применяемые в настоящее время способы очистки шахтных

вод отличаются низкой эффективностью. Шахтные воды сбрасываются в водоемы и водостоки, неся с собой миллионы тонн различных химических соединений в виде солей, а также механических примесей с включениями гуминовых остатков, фенольных, нефтяных и различных поверхностно-активных веществ и др.

Системами проветривания шахт выносятся на поверхность и выбрасываются в атмосферу пыль, газы и тепло, воздействуя на состояние атмосферы региона. Пыль изменяет прозрачность атмосферы, а в зимний период изменяет цвет снежного покрова. Шахтный метан, поступая в атмосферу, усиливает парниковый эффект. Выдаваемые из шахт складываемые породы пылят и, взаимодействуя с осадками, способствуют образованию окислов редкоземельных металлов и элементов. Выделяемые вещества от-

* Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ по субсидии № 14.575.21.0025.

равляют атмосферу, загрязняют грунтовые воды и вызывают деградацию почв. Складируемые породы, требуют отчуждения значительных площадей полезных земель. При этом на подработанной поверхностью происходят осадки и образуются провалы, способствующие заболачиванию и деградации плодородных земель [1].

Долгосрочной программой развития угольной отрасли предусмотрено значительное повышение интенсивности отработки запасов, что приводит к увеличению статических и динамических нагрузок на крепь, стимулирует проявление горных ударов и внезапных выбросов угля и газа. В этих условиях одним из основных вопросов является обеспечение безопасности горных работ и повышение экологичности подземной угледобычи.

Одним из эффективных способов управления горным давлением при ведении очистных работ является закладка выработанных пространств, которая с одной стороны, способствует снижению проявлений горного давления в очистных забоях (в частности устраниению вторичных осадков основной кровли), а с другой стороны, обеспечивает устойчивость горных выработок, а также предотвращает нерегламентированную подработку земной поверхности, инженерных сооружений и естественных объектов. Кроме того при ведении очистных работ с закладкой выработанного пространства решается проблема безотходного, экологически безопасного производства, связанного с использованием пустых пород в качестве закладочного материала, а также могут быть использованы отходы (хвосты) обогатительных фабрик, металлургические шлаки и другие материалы [2].

Разработка угольных пластов с обрушением, как правило, характеризуется значительными потерями угля в недрах за счет оставления различного

рода целиков. При работе с закладкой, вследствие уменьшения горного давления на крепь выработок, появляется возможность полного устранения или уменьшения размеров этих целиков. Сокращение потерь угля в недрах создает условия для устранения подземных пожаров. Снижение потерь важно так же и с точки зрения увеличения сроков существования шахт, что приводит к уменьшению капитальных затрат на 1 т добытого угля.

В настоящее время применение закладки выработанного пространства значительно удорожает производство. Данная технология использовалась в опытно-промышленном масштабе. Рассмотрим опыт применения закладки на угольных предприятиях Прокопьевско-Киселевского района Кузбасса. Большинство угольных предприятий разрабатывающих крутые пласты в данном районе, имеют низкую эффективность добычи угля, нерациональное использование природных ресурсов и высокую опасность для окружающей среды.

Прокопьевско-Киселевский район является сложным в горно-геологическом отношении.

На его шахтах были испытаны почти все известные в мировой практике системы разработки, такие как:

- шитовая с обрушением кровли пород (ШО),
- комбинированная с гибким перекрытием (КГП),
- подэтажная гидроотбойка с обрушением кровли (ПГО),
- подэтажные штреки обрушением кровли пород (ПШО),
- длинные столбы по простиранию обрушением кровли (ДСО),
- системы разработки с закладкой выработанного пространства, в т.ч. короткие полосы по простиранию с гидравлической закладкой выработанного пространства (КПГЗ),

- наклонные слои с гидрозакладкой (НСГЗ),

- поперечно-наклонные слои с гидрозакладкой выработанного пространства (ПНСГЗ).

Большая часть угля (93%) добывается системами разработки с обрушением боковых пород и 7% с гидравлической закладкой выработанного пространства [3].

Например на шахте «Коксовая» при среднесуточной нагрузке 4000 т угля, из которых 80–90% добывается с закладкой, производительность труда рабочего по добыче не превышает 40 т/мес, расход леса – 40–50 м³ на 1000 т добычи [4].

Чем больше глубина разработки, тем больше горное давление, а следовательно возрастает опасность внезапных выбросов угля и газа и пожароопасность, а также это приводит к увеличению потерь угля в недрах из-за увеличения размеров охранных целиков. Все это снижает производительность труда.

На шахтах работающих с обрушением кровли, производительность труда снижается в 2 раза быстрее, чем на шахтах, работающих с закладкой и оказывается практически такая же как и при использовании закладки [5].

Внедрение закладки выработанного пространства сдерживается отсутствием прогрессивной технологии и средств комплексной механизации закладочных работ [4].

Добыча угля с закладкой выработанного пространства ведется в Польше, Франции, Румынии, Венгрии, Германии, Австрии, Индии, Японии, Турции и других стран. Наибольшее развитие добыча угля с закладкой выработанного пространства получила в Польше, где ежегодно с гидравлической добывается около 30, с пневматической – 2 и с механической – около 1 млн т угля [3].

Закладка как технологический процесс включает в себя операции по при-

готовлению, транспортированию закладочного материала и размещению его в выработанном пространстве.

Достоинствами закладки выработанного пространства являются:

- существенное снижение потерь полезного ископаемого в недрах;

- уменьшение пожароопасности при разработке пластов, уголь которых склонен к самовозгоранию, увеличение безопасности работ;

- исключает образование провалов на поверхности, при разработке мощных крутых пластов, и значительные оседания поверхности.

Недостатками закладки выработанного пространства являются:

- трудоемкий дополнительный процесс в технологической схеме подземной добычи угля;

- стоимость закладочных работ составляет 15–20% стоимости работ по добыче угля.

Поэтому закладку применяют лишь в тех случаях, когда другие, более простые и дешевые способы управления горным давлением в данных горно-геологических условиях не могут обеспечить безопасную и эффективную добычу угля.

Управление горным давлением полной закладкой рекомендуют применять:

- для охраны ответственных сооружений и водоемов на поверхности;

- при слабых, склонных к сползанию породах почвы или весьма слабых породах кровли и почвы на крутых пластах;

- под пожарными участками и участками, опасными по прорывам глины;

- как правило, при разработке мощных крутых месторождений с самовозгорающимися полезными ископаемыми;

- при разработке крутых пластов, опасных по внезапным выбросам угля и газа.

Существуют следующие виды закладочных работ:

- гидравлическая,
- пневматическая,
- комбинированная (гидропневматическая),
- твердеющая,
- самотечная,
- механическая.

В зависимости от полноты заполнения выработанного пространства различают:

- полную закладку выработанного пространства
- частичную закладку выработанного пространства (в виде охранных полос при поддержании выработок).

Гидравлическая закладка – использовании потока воды для транспортирования по трубопроводам закладочного материала и заполнения им выработанного пространства.

В сравнении с другими способами гидравлическая закладка выработанного пространства получила наибольшее распространение в угольной промышленности при любой мощности и углах падения пластов, отрабатываемых наклонными, поперечно-наклонными и горизонтальными слоями, длинными столбами по простиранию и восстанию, камерно-столбовыми и др. системами, а также в горнорудной промышленности при разработке месторождений горизонтальными слоями, камерами и др.

Достоинствами гидравлической закладки выработанного пространства являются:

- при любой мощности и угле падения, отрабатываемых наклонными, поперечнонаклонными и горизонтальными слоями, длинными столбами по простиранию и восстанию, камерно-столбовыми и другими системами, а также в горнорудной промышленности при разработке горизонтальными слоями, камерами и др.;
- высокая плотность (усадка 10–20%) и устойчивость закладочного массива;

- возможность подачи закладочного материала в забой с поверхности без перегрузок по трубопроводам;
- высокая производительность работ (до 400 м³/ч, иногда выше).

Недостатками гидравлической закладки выработанного пространства являются:

- необходимость ввода в шахту значительного количества воды, что осложняет общий режим работы шахты, вынос мелких фракций из массива на откаточные выработки, необходимость осуществления спец. мероприятий по управлению отработанной водой;
- управление отработанной водой в связи с ее большим объемом и выносом мелких фракций закладочного материала;
- при работе по простиранию – полная изоляция крепи в забое, а по восстанию – герметизация выработок, прилегающих к закладочному массиву;
- осветления воды – дополнительные выработки, а для откачки – насосные установки;
- крупные первоначальные затраты на сооружение гидрозакладочного комплекса.

Пневматическая закладка – использование энергии сжатого воздуха для перемещения по трубопроводу закладочного материала и заполнения им выработанного пространства.

Достоинствами пневматической закладки выработанного пространства являются:

- простота возведения массива с относительно высокой плотностью и полнотой заполнения выработанного пространства (усадка 20–30%);
- простота транспортирования закладочного материала по трубам;
- управления процессом возведения закладочного массива в выработанном пространстве.

Недостатками пневматической закладки выработанного пространства являются:

- высокий расход энергии (10–15 кВт в час на 1 м³ закладочного материала), большой износ оборудования и трубопроводов, значительное пылеобразование;

- значительные капитальные затраты на закладочное и силовое оборудование;

- высокий расход сжатого воздуха на укладку 1 м³ закладочного материала;

- быстрый износ трубопровода и его арматуры (переходных колен, задвижек, распределителей).

Для обеспечения безопасного и эффективного ведения закладочных работ необходимо, чтобы закладочный материал образовывал плотный закладочный массив, дающий наименьшую допустимую усадку под давлением.

Так при пневматической закладке, благодаря большой скорости вылета материала из трубопровода (до 30 м/с) достигаются высокие коэффициент уплотнения закладочного материала в массиве (1, 4) и степень заполнения выработанного пространства (до 85–95%), что обуславливает оседание пород кровли в закладочном массиве, не превышающие 15–20% вынимаемой мощности пласта. Сближение кровли с почвой в закладочной лаве на расстоянии 4 м от угольного забоя составляет в среднем 50–100 мм, что в 3–4 раза меньше, чем в лаве, работающей по этому же пласту без закладки выработанного пространства.

Величина смещения кровли при гидравлической закладке на расстоянии 6,6 м от забоя (168–169 мм) в 3–4 раза меньше, чем при полном обрушении кровли (619–671 мм) на расстоянии 2 м от забоя.

Твердеющая закладка – смесь с водой различных вяжущих материалов, способных твердеть, как бетон; предел прочности твердеющей закладки обычно невысокий и равен 1,5–10 МПа. В состав ее входят песок (песковидные хвосты обогащения), щебень, цемент

или другие подобные ему вяжущие вещества (например, специально обработанные шлаки). Вода, как и в бетоне, необходима для реакций твердения смеси. Свежеприготовленная смесь имеет жидкую консистенцию и может подаваться в выработанное пространство по трубам, как гидравлическая закладка.

Достоинствами твердеющей закладки выработанного пространства являются:

- высокая производительность и надежность процесса в целом;

- сравнительно равномерное качество смеси закладочного материала;

- применение самотечного транспорта, эффективность которого повышается с глубиной;

- незначительная трудоемкость при полном отсутствии необходимости ведения работ в забое;

- незначительная усадка (не св. 3–5%);

- сохранность земной поверхности в любых горнотехнических условиях;

- возможность отработки законсервированных целиков;

- обеспечение безопасности работ и полноты извлечения полезного ископаемого.

Недостатками твердеющей закладки выработанного пространства являются:

- наличие большого объема выработанного пространства, подлежащего закладке;

- непрерывность его заполнения и длительность набора прочности (не менее 28 дней) из-за избыточного количества воды;

- высокая стоимость;

- технологическая сложность приготовления многокомпонентных твердеющих смесей.

Самотечная закладка применяется при отработке крутых и наклонных пластов и залежей по простиранию

наклонными слоями, сплошной и камерной системами, а также при шитовой выемке.

Материал подается в выработанное пространство и распределяется в нем под действием гравитационных сил.

Уплотнение закладочного массива происходит вначале за счет кинетической энергии падающих кусков, а в дальнейшем – под действием веса вышележащих слоев массива и горного давления.

Достоинством самотечной закладки выработанного пространства является:

- наиболее дешевый способ.

Недостатками самотечной закладки выработанного пространства являются:

- невысокая плотность и значит, усадка закладочного массива, достигающая 20–25% при мелкозернистых материалах и 40–50% при крупнокусковых материалах;

- необходимость подбучивания потолочин в закладываемых лавах и камерах механическими или пневматическими способами.

При механической закладке закладочный материал подается в выработанное пространство или размещается в нем с помощью метательной машины (ленточно-барабанной или дисковой) или скрепера.

Достоинствами механической закладки выработанного пространства являются:

- небольшую энергоемкость (0,4–0,5 кВт в ч/м³);

- возможность подбучивания кровли закладываемого пространства;

- использования крупнокусковых материалов.

Недостатками механической закладки выработанного пространства являются:

- сложность транспортирования закладочного материала в призабойном пространстве и организации ведения работ;

- громоздкость применяемого оборудования;

- небольшая дальность метания (6–10 м);

- сравнительно небольшая и неравномерная плотность закладочного массива (усадка колеблется от 15 до 30%).

Широкого распространения самотечная и механическая закладки не получили [6–8].

Весь комплекс негативных последствий на окружающую среду может быть сведен до минимума за счет применения качественной закладки выработанного пространства.

В этом случае создаются условия для минимизации газовыделения в горные выработки, снижения водопритока и сокращения объемов выдаваемой на поверхность пустой породы. Снижаются и негативные проявления зон ПГД (повышенного горного давления). В перспективе появляется возможность и вовлечения в отработку запасов, находящихся в охранных целиках.

В результате применения закладки будут сохранены водоносные горизонты и сокращены водопритоки в горные выработки, следовательно, потребуется меньшей мощности водоотлив, меньшее количество водоочистных сооружений, сократится сброс загрязненных вод в водоемы и водотоки.

Пустые породы горных выработок должны использоваться на приготовление закладочного материала, не выдаваться на поверхность, что обеспечит сохранение земельных участков, почвенного покрова, грунтовых вод, атмосферного воздуха. Применение закладки позволит снизить оседания поверхности, исключить необходимость рекультивации земель на горном отводе и развитие заболоченности.

В результате уменьшения деформации углепородного массива уменьшается газовыделение в горные выработ-

ки. Снизится и тепловое загрязнение атмосферы, т.к. теплота вмещающих пород на 50–60% поглощается закладочным материалом.

Важное значение имеет и то, что закладка позволяет уменьшить использование в шахте лесных материалов, что само по себе является решением экологической и экономической проблем.

Таким образом, применение закладки выработанного пространства обеспечит улучшение экологической

обстановки в регионе, позволит снизить, а по некоторым видам исключить плату за негативное экологическое воздействие.

В современных условиях закладку следует рассматривать как способ защиты окружающей среды от техногенного воздействия подземных работ. На Западе закладку применяют давно и довольно широко, стоит задуматься, что и в отечественных условиях возможно использовать прогрессивный опыт.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ельчанинов Е.А., Кабанова О.Б. Эколого-экономическая управления массивом горных пород методом закладки выработанного пространства // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2002. – № 10.
2. Шенгерей С.В. Технология формирования устойчивого выработанного пространства для размещения производственных отходов при отработке крутых угольных пластов. – Новокузнецк, 2007.
3. Хрисанов П.Е. Обоснование параметров технологии отработки запасов мощных крутых угольных пластов с закладкой выработанного пространства: автореферат дисс. на соискание учен. степени канд. техн. наук. – М., 2010.
4. Закладочные работы в шахтах: Справочник / Под ред. Д.М. Бронникова, М.Н. Цыганова. – М.: Недра, 1989. – 400 с.; ил.
5. <http://computerchoppers.ru/tehnologiya-gornogo-proizvodstva/2108-tverdeyuschaya-zakladka-chast-2.html> Твердеющая закладка ч. 2.
6. Добровольский В.В., Симонов В.И., Журавлев В.В., Бухгольц В.П. Гидравлическая закладка выработанного пространства на угольных шахтах / Под общ. ред. А.С. Кузьмича. – М.: Недра, 1975. – 232 с.
7. Кравченко В.П., Куликов В.В. Применение твердеющей закладки при разработке рудных месторождений. – М., 1974.
8. Смолдырев А.Е. Технология и механизация закладочных работ. – М., 1974. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Коликов Константин Сергеевич – доктор технических наук, профессор, зав. кафедры, e-mail: kolikovks@mail.ru,

Мазина Ирэна Эдуардовна – ведущий инженер, аспирант, e-mail: irehna-mazina@rambler.ru,
Урузбиева Арина Геланьевна – аспирант, e-mail: arina99991@mail.ru,
МГИ НИТУ «МИСиС».

UDC 622.504, 622.831.1/.3, 622.272

STOWING AS A WAY TO REDUCE THE NEGATIVE ENVIRONMENTAL IMPACT DURING UNDERGROUND COAL MINING

Kolikov K.S.¹, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Chair, e-mail: kolikovks@mail.ru,

Mazina I.E.¹, Leading Engineer, Graduate Student, e-mail: irehna-mazina@rambler.ru,

Uruzbieva A.G.¹, Graduate Student, e-mail: arina99991@mail.ru,

¹ Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS», 119049, Moscow, Russia.

Applying the technology of underground coal mining is a significant negative impact associated primarily with changes in the stress-strain state. Unloading gas-bearing coal spoil array leads to intense emission in mining, creating the danger of explosions in mines. One of the most effective ways to manage stress-strain state is

the mined-out space. The article describes the types of laying-out space, their advantages and disadvantages, a dedicated long-term objectives of this direction, from the point of view of their influence on environmental impacts.

Key words: gas emission, stress-strain state, control roof, stowing mined-out spaces, hydraulic stowing, pneumatic stowing, combined stowing, solid stowing, gravity stowing, mechanical stowing.

ACKNOWLEDGEMENTS

The work was financially supported by Ministry of education and science of Russian Federation on subsidies no 14.575.21.0025.

REFERENCES

1. El'chaninov E.A., Kabanova O.B. *Gornyi informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2002, no 10.
2. Shengerei S.V. *Tekhnologiya formirovaniya ustoychivogo vyrabotannogo prostranstva dlya razmeshcheniya proizvodstvennykh otkhodov pri otrabotke krutykh ugol'nykh plastov* (Technology for stable mined-out area for production waste disposal in steep coal bed mining), Novokuznetsk, 2007.
3. Khrisanov P.E. *Obosnovanie parametrov tekhnologii otrabotki zapasov moshchnykh krutykh ugol'nykh plastov s zakladkoi vyrabotannogo prostranstva* (Justification of geotechnology parameters for steep thick coal bed cutting with backfilling), Candidate's thesis, Moscow, 2010.
4. *Zakladochnye raboty v shakhtakh: Spravochnik*. Pod red. D.M. Bronnikova, M.N. Tsygalova (Backfilling in mines: Handbook. Bronnikov D.M., Tsygalov M.N. (Eds.)), Moscow, Nedra, 1989, 400 p.
5. URL: <http://computerchoppers.ru/tehnologiya-gornogo-proizvodstva/2108-tverdeyushchaya-zakladka-chast-2.html>.
6. Dobrovol'skii V.V., Simonov V.I., Zhuravlev V.V., Bukhgo'l'ts V.P. *Gidravlicheskaya zakladka vyrabotannogo prostranstva na ugol'nykh shakhtakh*. Pod red. A.S. Kuz'micha (Hydraulic backfilling in coal mines. Kuz'mich A.S. (Ed.)), Moscow, Nedra, 1975, 232 p.
7. Kravchenko B.P., Kulikov B.B. *Primenenie tverdeyushchei zakladki pri razrabotke rudnykh mestorozhdenii* (Solidifying backfilling in ore mining), Moscow, 1974.
8. Smoldyrev A.E. *Tekhnologiya i mekhanizatsiya zakladochnykh rabot* (Backfilling technology and mechanization), Moscow, 1974.



НОВИНКИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ГОРНАЯ КНИГА»



Расчет аэродинамических параметров выработанных пространств

Автор: Каледина Н.О., Кобылкин С.С.

Год: 2015

Страниц: 44

ISBN: 978-5-98672-393-8

UDK: 622.41:533.6

Методические указания разработаны в соответствии с программой дисциплины «Аэрология горных предприятий». Приведены теоретические основы и методика расчета параметров выработанных пространств как элементов шахтной вентиляционной сети, позволяющая осуществлять расчет утечек выемочных участков при основных типах схем проветривания с учетом режима фильтрации. Даны необходимые справочные материалы, требуемая литература, указания по выполнению работы.

Для студентов специальности «Горное дело» специализации «Технологическая безопасность и горноспасательное дело», а также могут быть использованы студентами других специализаций для углубленного изучения специальных вопросов вентиляции шахт и рудников и выполнения дипломных проектов.