

Ю.Ф. Васючков, А.Ю. Стулишенко

ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ МИНЕРАЛОВ ДЛЯ ДЕЗИНТЕГРАЦИИ УГОЛЬНОГО МАССИВА

Исследована возможность достижения внутрипластовой дезинтеграции угольного пласта с использованием методов биотехнологий. В рамках исследований проводится анализ марок и минерального состава углей, которые могут быть объектом использования скважинных технологий, а также возможности оценки степени разупрочнения угля после биотехнологического воздействия на массив.

Ключевые слова: рудник, система разработки, целик, прочность, гидравлическая закладка.

Ключевые слова: биотехнология, дезинтеграция, выщелачивание, скважинные технологии, физико-химия, уголь.

В угольной промышленности остро стоят проблемы комплексного использования полезных компонентов, содержащихся в угольных месторождениях – тепловой энергии, угольного метана и полезных минералов. Проблема эта носит не только экономический, но и экологический характер. Так, утилизация угольного метана позволяет снизить экологическую нагрузку на атмосферу, уменьшить выбросы парниковых газов, а уменьшение содержания минералов в угле – повысить экономическую эффективность разработки угольных месторождений и уменьшить загрязнение окружающей среды в угледобывающих регионах.

Использование традиционных технологий освоения угольных месторождений с различными вариантами способов подготовки и систем разработки не позволило до настоящего времени решить указанные проблемы. Перспективным направлением в этом отношении является использование скважинных технологий, которые позволяют не только вовлечь в экономику угольный метан, как важный энергетический и химический ресурс, но и решить экологически важные задачи – деминерализацию добываемо-

го угля, оставление пустой породы в недрах и предотвращение выбросов в атмосферу метана, окислов азота и серы.

Скважинные технологии при их использовании в угольной промышленности имеют двоякую направленность (цель) – получение конечного продукта в виде твердого полезного ископаемого для последующего традиционного его использования или в виде газообразного топлива для энергетических и химико-технологических целей. Для предприятий угольной промышленности в настоящее время первое направление имеет преимущественное значение. В настоящей работе рассматривается проблема добычи угля с использованием скважинных технологий.

На пути внедрения скважинных технологий на угольных месторождениях стоит серьезная техническая и научная задача – внутрипластовое разупрочнение (ослабление, дезинтеграция) угольного массива для последующей его отбойки скважинными мониторами и транспортирование на поверхность угля. Эту проблему невозможно решить без предварительного активного воздействия на угольный массив гидравлическими,

химическими или бактериальными средствами.

В настоящей работе исследуется возможность достижения внутрипластовой дезинтеграции угольного пласта с использованием биотехнологий.

Важным элементом исследований являлся анализ химического состава минеральной части угольных пластов и выбор соответствующих микробиологических культур.

Прежде всего, был проведен анализ марок углей, которые могут быть объектом использования скважинных технологий. Анализ показал, что для цели скважинной добычи ископаемого угля пригодны все его марки от Б до А. Для целей использования продукции скважинных технологий в виде газового топлива могут быть пригодны лишь марки Б, Д, КС, ОС, ТС, Т и А. В табл. 1 приведены идентификационные характеристики этих марок угля. Таким образом, спектр использования скважинных технологий с целью получения угля в твердой фазе достаточно широк. Приведенные марки углей

встречаются на территории России во многих бассейнах и месторождениях, начиная от Подмосковского бассейна и кончая Дальним Востоком.

Угли различных регионов отличаются по крепости и сопротивлению к разрушению. Например, бурые угли Подмосковского бассейна не требуют внутрипластовой дезинтеграции, а антрацитовые месторождения Восточного Донбасса будут нуждаться в мощных средствах дезинтеграции угольного массива.

Минеральные включения в углях обычно представлены глинистыми минералами, сульфидами железа, карбонатами, оксидами кремния, иногда сульфатами.

Глинистые минералы в среднем составляют примерно 60–80% общего количества минеральных веществ, ассоциирующих с углем. Чаше всего они представлены иллитом, серицитом, монт-мориллонитом (окиси Mg, Al, Fe, K, Na, Ca и вода) и каолинитом ($Al_4[Si_4O_{10}][OH]_8$). Реже отмечается галлуазит.

Таблица 1

Идентификационные характеристики марок угля, используемых для получения газового топлива в скважинных технологиях

Марка угля	Степень отражения витринита, %	Толщина пластического слоя Δ, мм	Выход летучих, %	Зола, %	Назначение
Б	<0,6	–			Энергетика, химическое сырье
Д	0,4–0,79	–	≥ 28–30		Энергетика
ДГ	0,4–0,79	6–9	≥ 28–30		Энергетика
1Г	0,5–0,89	10–12	>38		С Δ < 8 мм – для газификации и витринитовые угли с $V^r > 42\%$ – для получения синтетического топлива
2Г	0,8–0,99	13–16	≥30		
ТС	–	<6	<22	6–45	Энергетика
СС	0,7–1,79	<6	14–25	8–45	Энергетика, КБТ*
Т	1,3–2,59	0	8–15,9	–	Энергетика, КБТ
А	>2,59	<8	2,2–2,59	–	Энергетика, КБТ, химическое сырье

* КБТ- котельно-бытовое топливо.

Глинистые минералы сложены из частиц размерами до 100 мкм. Встречаются в виде линз, прослоек или тонко рассеянных частиц в витрините. Нередко выполняют полости в компонентах с растительной структурой или замещают их отдельные участки. В угольных пластах иногда содержатся прослойки тонштейнов, в которых главным породообразующим минералом является каолинит.

Из сульфидов железа наиболее характерны пирит (FeS_2), марказит (FeS_2) и мельниковит. Форма их нахождения в пластах различна и определяется условиями образования. Сингенетические образования встречаются в виде отдельных зерен, псевдоморфоз по растительным остаткам, конкреций, прослойков. Эпигенетические сульфиды, как правило, выполняют трещины.

Карбонаты представлены кальцитом (CaCO_3), сидеритом (FeCO_3), доломитом ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), анкеритом (двойная соль, как доломит). Кальцит часто образует тонкие прослойки либо заполняет трещины в угле. Сидерит встречается в виде округлых или овальных образований (оолитов) или заполняет полости растительных фрагментов.

Оксиды кремния представлены в углях кварцем (SiO_2), халцедоном (SiO_2), опалом ($\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) и другими минералами. Кварц встречается в виде небольших прослоек, округлых и узловатых зерен, иногда образует довольно крупные линзы. Халцедон встречается сравнительно реже, обычно совместно с кварцем. В зонах выветривания угля некоторых бассейнов отмечается гипс (сульфат $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), заполняющий трещины, реже – в виде конкреций.

Прочие минеральные включения представляют в основном гидроксиды железа, фосфаты, полевые шпаты, соли.

Минеральные компоненты в углях условно можно разделить на три группы:

- грубые смеси, из которых отдельные минеральные компоненты выделяются обычными методами обогащения;
- тонко-вкрапленные, выделение которых требует применения специальных методов обогащения;
- связанные химической связью с органической массой, которые методами обогащения практически не выделяются.

В зависимости от геологических особенностей месторождений в углях всегда в разных количествах присутствуют включения горных пород и минералов. Это могут быть силикаты Al, Fe, Ca, Mg, Na, и K, карбонаты (CaCO_3 , MgCO_3 , FeCO_3 и т.д.), сульфаты (CaSO_4 , FeSO_4 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ и т.д.), оксиды (FeO , CaO и т.д.), сульфиды (FeS_2), а также органоминералы – соли гуминовых кислот. В углях также присутствуют микроэлементы, концентрация которых в угольных пластах иногда может превышать их фоновые содержания в несколько сотен раз (например, Ge, W, Be, U, Se, Zn, Mo, Re, Ag, As, Sb, Pb)

Большая часть золы угля составляют окислы железа, кремния, кальция, магния, алюминия. Основные компоненты золы угля – оксиды Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K, подчиненное значение имеют оксиды Ti, P, Mn. Выход и состав зол зависят от природы угля (условий его сжигания, прежде всего – от скорости озоления и конечной температуры прокаливания). Основной состав каменноугольной золы [57]: легкие алюмосиликатные микросферы – 1–2%; микросферы (основной состав SiO_2) – 60%; микросферы, содержащие муллит – 25%; кокс – от 1 до 7%; магнетит в сферической форме – 3–5%; прочие минералы. В табл. 2 приведены данные анализа

Таблица 2

Химический состав золы угля шахты «Торез» Донецкого бассейна

Компонент золы углей	Содержание в золе, %			
	Проба № 1	Проба № 2	Проба № 3	Среднее
SiO ₂	36,57	43,54	48,04	42,71
Al ₂ O ₃	13,38	19,11	21,66	18,05
Fe ₂ O ₃	24,95	19,56	15,47	19,99
CaO	6,12	3,32	2,93	4,13
MgO	3,02	2,90	2,14	2,69
C ₂ O ₅	0,37	0,34	0,33	0,35
Na ₂ O	0,15	1,19	1,06	1,33
K ₂ O	1,75	3,35	0,45	1,85
CO ₃	6,29	3,39	2,78	4.15
Mg ₃ O ₄	0,22	0,18	0,11	0,17
TiO ₂	0,82	0,67	0,75	0,75

проб золы угля шахты «Торез», отобранных после его сжигания.

Как показывают опытные данные, наибольший удельный вес (около 61%) принадлежит окислам кремния и алюминия.

По данным энергетиков примерное содержание основных оксидов в золах различных ТЭС составляет (%): SiO₂ – 37–63; Al₂O₃ – 9–37; Fe₂O₃ – 4–17; CaO – 1–32; MgO – 0,1–5; SO₃ – 0,05–2,5; Na₂O + K₂O – 0,5–5.

Зола большинства угольных пластов содержит окись кальция, что говорит о наличии в них кальцевых карбонатов или других кальцевых минералов. Зола углей Донецкого, Печорского, Кузнецкого, Карагандинского и ряда других бассейнов содержит не более 8–10% CaO. Высококальциевой зольной частью с содержанием CaO 15–40% характеризуются каменные и бурые угли ряда бассейнов Средней Азии и Сибири, многие типы торфа и горючие сланцы. У последних содержание в зольной части CaO составляет 25–60%. В работе [2] установлена эмпирическая связь между содержанием окиси

кальция в золе угля и содержанием в нем кальцита.

$$C_{\text{кк}} = 0,0178 A_{\text{д}} \cdot C_{\text{ок}}, \% \quad (1)$$

где $C_{\text{кк}}$ – содержание кальцевых карбонатов в пласте, %; $A_{\text{д}}$ – зольность угля на сухую массу, %; $C_{\text{ок}}$ – содержание окиси кальция в золе угля, %.

Ввиду прямой зависимости содержания минеральных соединений в золе от содержания соединений этих же минералов в пласте, из множества всех минеральных соединений можно выделить наиболее весомые в процентном соотношении – SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ и CaO или комплексов минералов – каолин (Al₂O₃ + SiO₂), сидерит (FeCO₃), кальцит (CaCO₃) и серосодержащие соединения. Именно эти минералы и будут предметом активного воздействия для повышения пористости угля и, следовательно, его разупрочнения в той или иной степени.

Активное воздействия на угольный массив может быть произведено микробиологической культурой в режиме выщелачивания минеральных компонентов. Оценим рост пористости угля после микробиологического



Увеличение пористо-трещинного объема угля при растворении его минеральной части

воздействия (МБВ) при исходной (природной) пористости $m_{пр}$. Если считать, что растворение единицы объема минеральной составляющей угля приводит к равному росту пористо-трещинного объема угля Δm (%), то формула связи имеет следующий вид:

$$\Delta m = \rho_{уг} \cdot A_w / \rho_{п}, \quad (2)$$

где $\rho_{уг}$ – плотность угля, кг/м³; A_w – содержание минеральной части в единице объема угля, %; $\rho_{п}$ – плотность минерала, кг/м³. Величину A_w по рекомендации А.А. Агроскина [3] можно вычислить по формуле:

$$A_w = 1,129 A_d + 0,935 S - 0,2, \quad (3)$$

где A_d – зольность угля, %; S – содержание серы в угле, %.

Зависимость прироста пористо-трещинного объема угля при выщелачивании его минеральной части представлена на рисунке. Прирост объема минеральной части угля становится дополнительным объемом его пористо-трещинной структуры, что

способствует уменьшению зольности добываемого угля и ослаблению структурных связей в нем.

Общий объем пор и трещин в угольном массиве после биовыщелачивания минеральной части угля или ее доли представляет собою сумму природной пористости и выщелаченного объема. Рост пористо-трещинного объема угля после биотехнологического воздействия обеспечивает

дезинтеграцию угольного массива. Дальнейшей задачей научных исследований является установление связи степени увеличения пористо-трещинного объема с величиной или степенью дезинтеграции массива.

Выводы

1. Для целей активного воздействия на минеральную часть угля можно рекомендовать оксиды SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , минералы каолин ($Al_2O_3 + SiO_2$), сидерит ($FeCO_3$), кальцит ($CaCO_3$) и серосодержащие соединения.

2. Активное воздействие на указанные минералы и соединения может быть выполнено на основе использования химических или микробиологических технологий, но из экологических соображений преимущество принадлежит биотехнологии.

3. Степень разупрочнения угля после биотехнологического воздействия на массив может быть оценена по приросту пористо-трещинного объема угля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

2. Васючков Ю.Ф. Теории и физико-химические способы управления свойствами и состоянием угольных пластов с целью их интенсивной дегазации, докт. дисс. – М.: МГУ, 1982.

3. Агроскин А.А. Химия и технология угля. – М.: ГНТИ литературы по горному делу, 1961. – 293 с. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Васючков Юрий Федорович – доктор технических наук, профессор,
Стулишенко А.Ю. – аспирант, e-mail: lq-ice@mail.ru,
МГИ НИТУ «МИСиС».

UDC 622.775

LEACHING MINERALS FOR DECOMPOSITION OF A COAL MASS

Vasyuchkov Yu.F., Doctor of Technical Sciences, Professor,
Stulishenko A.Yu., Graduate Student, e-mail: lq-ice@mail.ru
Moscow Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS», e-mail: ud@msmu.ru.

In this work achievement possibility of the in-stratum decomposition of a coal mass , using methods of biotechnologies is investigated. Within the limits of researches the analysis of marks and mineral structure of coals, which can be an object of use downhole technologies, and also possibility of an estimation of degree weakening coal after biotechnological influence on a mass is carried out.

Key words: biotechnology, decomposition, leaching, downhole technologies, physicochemical, coal.

REFERENCES

2. Vasjuchkov Ju.F. *Teorii i fiziko-himicheskie sposoby upravlenija svojstvami i sostojaniem ugol'nyh plastov s cel'ju ih intensivnoj degazacii* (Theory and physicochemical methods of control over properties and condition of coal for the purpose of intensive degassing), Doctor's thesis, Moscow, MGGU, 1982.

3. Agroskin A.A. *Himija i tehnologija uglja* (Chemistry and technology of coal), Moscow, GNTI literatury po gornomu delu, 1961, 293 p.



**РУКОПИСИ,
ДЕПониРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «ГОРНАЯ КНИГА»**

ОЦЕНКА КОНЦЕНТРАЦИИ НАЛОГООБЛОЖЕНИЯ БАНКОВСКОГО СЕКТОРА ЭКОНОМИКИ И ПРЕДПРИЯТИЙ ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

(№ 1024/07-14 от 12.05.14, 5 с.)

Ольховик В.В. – старший преподаватель, e-mail: Vladimir_Olhovik@mail.ru,
Севастопольский национальный технический университет.

ESTIMATION OF THE CONCENTRATION OF TAXATION OF THE BANKING SECTOR OF THE ECONOMY AND ENTERPRISES OF MINING INDUSTRY

Olhovich V.V., Senior Lecturer,
Sevastopol national technical University.