

УДК 622.271.3:622.76

## СОВРЕМЕННЫЕ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СЖИЖЕНИЯ УГЛЯ

Клейн Н.И., студентка гр. ГОс-171.2, IV курс  
Холодкина А.Е., студентка гр. ГОс-171.2, IV курс

Научный руководитель: В.Л. Мартьянов, к.т.н., доцент

Кузбасский государственный технический университет  
имени Т.Ф. Горбачева, филиал в г. Прокопьевске

г. Прокопьевск

Сжижение угля это технология получения жидкого топлива из угольного сырья. Сегодня известны следующие основные процессы переработки угля с конечным получением жидких продуктов [1, 2]:

- газификация угля с получением синтез-газа;
- гидрогенизация или насыщение водородом при повышенных температуре и давлении в специальных реакторах;
- термическое растворение в различных органических растворителях;
- пиролиз (коксования и полукоксования);
- сухая перегонка.

Для большинства твердых горючих ископаемых температура переработки их в жидкие продукты находится в пределах 380-450 ° С. Давление составляет в 2 - 50 МПа, а продолжительность процесса 20-60 мин. В зависимости от вида угля и процесса сжижения достигается выход жидких продуктов на уровне 75-95% с органической массы угля [2, 4].

Прогнозируется, что к 2030 году доля сжиженного угля в общей структуре топливных мировых ресурсов достигнет 20%.

Сжижение угля было разработано в начале 20-го века, названное в честь его изобретателей из Института кайзера Вильгельма синтезом Фишера-Тропша. Процесс Фишера — Тропша, состоит из двух стадий: вначале проводят реакцию газификации его с водяным паром и кислородом и получают смесь водорода и оксидов углерода (синтез-газ). Затем синтез-газ превращают в жидкое топливо с помощью катализаторов, содержащих железо или кобальт.

Гидрогенизация или процесс Бергиуса (Германия) основан на каталитической реакции, связанной с активацией атомов водорода и приводящей к получению жидкого топлива из угля.

Сжижение угля широко применялось немецкой промышленностью во время второй мировой войны. В середине 1930-х годов такие компании, как И.Г.

Фарбен и Рурхеми, начали промышленное производство синтетического топлива (синтина), получаемого из угля, что привело к строительству 12 установок с использованием гидргенизации и 9 установок с использованием синтеза Фишера-Тропша. В общей сложности синтин обеспечил 92% авиационного топлива и 75% автотракторного Германии и заместил более 50% поставок нефти во время войны. Заводы эффективно дополняли друг друга. Причина этого заключается в том, что гидрогенизация угля дает высококачественный бензин для авиации и двигателей, в то время как синтез в основном дает высококачественное дизельное топливо и смазочные масла. После войны в 1945 году Потсдамской конференцией Германии было запрещено производство синтетического топлива.

В дальнейшем производство синтетического топлива продолжилось в Южно-Африканском Союзе. Это связано было с ограничением поставок в него нефтепродуктов из-за международных санкций. В 1950-х годах нефтегазовая корпорация Sasol Limited начала эксплуатировать завод по сжижению угля, производя 150 000 баррелей ожиженного угля в день, заменяя треть потребности Южной Африки в нефти. Это усовершенствованный химический процесс Фишера-Тропша для производства бензина из метанола. Уголь сначала превращается в синтез-газ, а затем в метанол. Метанол дегидратируют до диметилового эфира, который дегидратируют на катализаторе для получения жидкого топлива. На долю Sasol Limited в настоящее время приходится 20 % южноафриканского рынка автомобильного и авиационного топлива. Завод по сжижению угля экономически оправдан при мировых ценах на сырую нефть выше 16-17 долларов за баррель. Средняя цена сегодня нефти составляет 52,3 доллара за баррель [3]. В настоящее время компания Sasol строит 27 заводов по сжижению угля в Нинбо, Китай.

Техническое развитие привело к созданию множества технологий, способных перерабатывать широкий спектр марок угля в синтин.

Например, помимо прямой гидрогенизации угля в СССР с конца 30-х годов прошлого века прорабатывался вариант термического растворения угля в органических растворителях. Работы проводились институтами ИГИ (Институт горючих ископаемых) и ВНИГИ. С 50-х годов прошлого века в г. Венев (Тульская область) по этой технологии работает и постоянно совершенствуется просыпленная установка на базе переработки углей Подмосковского бассейна.

Или, например, получение жидких углеводородных топлив сухой перегонкой из бурого угля и сапропитов (ИГИ, ИГД СО РАН), которые характеризуются повышенным выходом летучих веществ (45-57% и 55—70 %, соответственно) [5]. В Кемерово до войны работала промышленная установка по сухой перегонки сапропитовых углей Барзасского месторождения в моторные автомобильные и авиационные топлива.

В настоящее время активно развивается физико-биохимическая горная технология [6, 7], как научное направление, изучающее вопросы извлечения полезных ископаемых из недр путём перевода твёрдых компонентов в газы,

жидкости или их смеси под действием физических, химических и биологических процессов. В качестве рабочих биологических агентов в этой технологии используются бактерии, микроорганизмы, грибки, иммобилизованные клетки, биологические катализаторы и т.п.

Горные работы при этой технологии выполняются известными способами, но с учётом особенностей, которые накладываются применяемые способы перевода твёрдого полезного ископаемого в требуемое физическое состояние. При вскрытии месторождений и горно-подготовительных работах создаётся доступ рабочим агентам (растворителям, теплоносителям, микроорганизмам, активаторами биохимической деятельности и др.) к залежам с одновременной выдачей полезного ископаемого или его компонентов на поверхность. При этом обычно используются скважины различного диаметра, шахтные и открытые горные выработки.

В настоящее время угольная физико-биохимическая горная технология уже используется для обессеривания углей, снижения концентрации метана в угольных пластах и выработанных пространствах подземных выработок, биоконвертирования угля в жидкие и газообразные энергоносители, рекультивации земель, очистки шахтных вод и газовых смесей, выделения из твёрдых отходов угледобычи ценных минеральных веществ, получения белково-витаминных концентратов и др.

Биогеотехнология, как один из важных разделов физико-биохимической горной технологии, уходит корнями в геологическую микробиологию. Биологические свойства различных групп микроорганизмов и особенности их жизнедеятельности в месторождениях полезных ископаемых составляют научные основы биогеотехнологии. Биогеотехнология зародилась еще в XVI в, а сформировалась как научное направление к началу 80-х годов прошлого века наряду с достижениями по бактериальному выщелачиванию металлов, удалению серы из углей, борьбы с метаном в угольных шахтах, повышения нефтеотдачи пластов.

Сегодня начинают рассматриваться и решаться вопросы биоконвертирования угля в жидкие и газообразные энергоносители.

Процесс биоконвертирования угля в жидкие и газообразные энергоносители предполагается осуществлять в два этапа.

На первом этапе использование комплекса углеводородоокисляющих и метанобразующих бактерий предполагается использовать для увеличения пластичности угольных пластов. Способ основан на активации геохимической деятельности этих микробов в залежи, куда они попадают вместе с закачиваемыми через скважины поверхностными водами. Активация названных микробиологических процессов достигается путем аэрации закачиваемых вод и добавления в них минеральных солей азота и фосфора. Недостаток этих химических элементов чаще всего лимитирует активность микрофлоры в природных условиях. Нагнетание в угольную залежь обогащенной кислородом и минеральными солями воды приводит к образованию аэробной зоны в угольном

пласте вокруг нагнетательной скважины. Здесь начинают интенсивно идти процессы разрушения и размягчения пласта аэробными углеводородокисляющими микробами.

Процесс сопровождается накоплением углекислого газа, водорода и низкомолекулярных органических кислот, которые поступают в анаэробную зону залежи. Здесь они превращаются метанобразующими бактериями в метан. Разрушение угольного пласта и образование газов приводят к повышению газового давления в пласте и его разжижению, т.е. к увеличению пластичности угольных пластов.

На втором этапе предполагается использование гидрогенизирующих бактерий для насыщения угольного пласта атомарным водородом, который выделяется ими и активно реагирует с углеродом угольного пласта, способствуя его переходу в жидкое состояние. Известно, что твердая и жидкая фазы углеродного полезного ископаемого отличаются только содержанием в нем углерода: в углях 4 - 6%; в нефти 11 – 14,5%. Молекулярный водород не вступает в реакцию с органической массой угля. Гидрогенизация основана на каталитической реакции, связанной с активацией или насыщением водородом органической массы угля при повышенных температуре и давлении в специальных реакторах. Продуктом жизнедеятельности гидрогенизирующих бактерий является атомарный водород, который активно реагирует с углеродом угольного пласта и приводит к переходу его в жидкие и газообразные углеводородные соединения.

Несмотря на широкое распространение гидрогенизирующих бактерий в природе, в угольных пластах и прилегающих породах они отсутствуют. Поэтому требуемое количество активных водородопроизводящих бактерий можно выращивать в ферментариях и в виде суспензии в питательной среде и подавать в поровый объем угольных пластов. Для этого в шахтную воду добавляется заданное количество рабочей суспензии в виде биомассы гидрогенизирующих бактерий и недостающие для их активной жизнедеятельности минеральные соли. Обычно это минеральные соединения углерода (угольный ангидрид, природные карбонаты, минерализованные воды). В угольный пласт насосами через скважины нагнетается рабочая суспензия. Скважины бурятся или непосредственно по углю или из выработок, или с поверхности земли: 1 т угля может принять до 50 л рабочей суспензии. В угле микроорганизмы распространяются по трещинам и порам.

Таким путем осуществляется насыщение угля гидрогенизирующими бактериями. Но для развития этих аэробных бактерий необходим свободный кислород, которого нет в угольных пластах. Поэтому в насыщенный бактериями участок угольного пласта через те же скважины компрессором требуется постоянно прокачивать воздух. В этих условиях бактерии будут потреблять содержащийся в угле метан, и одновременно способствовать переходу твердой фазы в жидкую.

### Список литературы

1. Gianoulis, T.A.; Griffin, M.A.; Spakowicz, D.J.; Dunican, B.F.; Alpha, C.J.; Sboner, A.; Sismour, A.M.; Kodira, C.; Egholm, M.; Church, G.M. *et al.* Genomic Analysis of the Hydrocarbon-Producing, Cellulolytic, Endophytic Fungus *Ascocoryne sarcoides* (англ.) // PLoS Genet (англ.)русск. : journal. - 2012. - Vol. 8, no. 3. - P.
2. Griffin, M. A.; Spakowicz, D. J.; Gianoulis, T. A.; Strobel, S. A. Volatile organic compound production by organisms in the genus *Ascocoryne* and a re-evaluation of myco-diesel production by NRRL 50072 (англ.) // Microbiology : journal. - 2010. - December (vol. 156, no. 12). - P.
3. Wall Street Journal, 17 august 2006.
4. Strobel, G.A.; Knighton, B.; Kluck, K.; Ren, Y.; Livinghouse, T.; Griffin, M.; Spakowicz, D.; Sears, J. The production of myco-diesel hydrocarbons and their derivatives by the endophytic fungus *Gliocladium roseum* (NRRL 50072) (англ.) // Microbiology : journal. - 2008. - Vol. 154, no. 11. - P.
5. А.К.Мановян. Технология переработки природных энергоносителей. — Москва: Химия, КолосС, 2004. - 456 с.
6. Кондратьева Е. Н., Гоготов И. Н. Молекулярный водород в метаболизме микроорганизмов. М.: Наука, 1981. 342 с.
7. [https://www.theregister.co.uk/2006/02/24/pond\\_scum\\_breakthrough/](https://www.theregister.co.uk/2006/02/24/pond_scum_breakthrough/)