© М.В. Шумейко, 2008

УДК 622.332/54

М.В. Шумейко

ПРОИЗВОДСТВО УГЛЕЩЕЛОЧНЫХ РЕАГЕНТОВ И ГУМИНОВЫХ СТИМУЛЯТОРОВ РОСТА РАСТЕНИЙ

Описаны технологии производства углещелочных реагентов и области их применения, способы получения безбалластного гумата натрия из бурого угля либо торфа.

Углещелочные реагенты (УЩР)

В генезисе гумусовых углей определяющей является торфяная стадия. Важное значение в образовании торфов и почв имеет биосинтез гуминовых веществ. По данным рентгеноструктурного анализа, многократно подтвержденным другими методами, гуминовые кислоты представляют собой молекулярные образования с конденсированным ароматическим ядром, в боковых звеньях которых содержатся карбоксильные группы. Обширная группа еще недостаточно изученных веществ органической массы углей, сходных по строению, молекулы которых содержат ароматическое ядро, была обобщена под названием «гуминовые вещества». Весьма сходны с ними по строению асфальтены, карбены и другие вещества, извлекаемые из угля органическими растворителями. Отличие заключается в природе функциональных групп.

Исследование состава, свойств и возможностей использования гуминовых веществ, получаемых из бурых и окисленных в природных условиях каменных углей, позволило организовать небольшое по масштабам, но имеющее промышленное значение производство УЩР.

Экстрагированный бурый уголь подвергают пропарке для удаления остатков растворителя. Такой уголь используют в качестве энергетического топлива. На Семеновском заводе горного воска (Украина) из него в основном получают УЩР.

Технология производства УЩР основана на способности слабых водных растворов щелочей извлекать из бурых углей гуминовые кислоты. В отличие от некоторых бурых углей, органическое вещество каменных углей практически не способно растворяться ни в воде, ни в нейтральных органических растворителях (за исключением смоляных включений) или реагировать со слабыми водными растворами щелочей и минеральных кислот.

При обработке бурых углей выход гуминовых кислот зависит от концентрации раствора щелочи, температуры и продолжительности обработки. Существенным фактором является качество обрабатываемых бурых углей - содержание в нем гуминовых веществ. Таким образом, речь идет уже не о растворах гуминовой органической части углей, а ее гидролитическом расщеплении щелочами, т.е. о деструкции под влиянием химически активных реагентов. В производстве УЩР наиболее эффективно используются молотые землистые угли Днепровского и Южно-Уральского бассейнов, содержание гуминовых веществ

в которых достигает 40 %. Технология изготовления УЩР весьма простая, а сырьевая база практически не ограничена. На Семеновском заводе горного воска (Украина) УЩР получают из экстракционного бурого угля путем смешивания его с 42 % - ным раствором каустической соды в соотношении 6 : 1 (в пересчете на сухое вещество). После охлаждения в бункере и выдерживания в затаренном виде (в мешках) в течение нескольких суток реагент отгружают потребителям. Подобное производство имеется еще на трех действующих предприятиях России, мощность каждого из которых составляет несколько десятков тысяч тонн.

Впервые УЩР были применены в нашей стране для обработки растворов, используемых в буровой технике, взамен карбоксилметилцеллюлозы и других дорогостоящих химических продуктов. При обработке УЩР глинистых промывочных жидкостей ускоряется прохождение скважин, предотвращаются отвалы и набухание пластов, уменьшается фильтрация жидкой фазы. В этом отношении УЩР обладают существенным преимуществом по сравнению с другими реагентами. Они способны в течение 30 мин. снизить водоотдачу промывочных жидкостей до 5 $см^3$ даже в условиях применения морской воды и малоколлоидных глин, которые в необработанном виде имеют водоотдачу свыше 30 $см^3$. Благодаря этому УЩР широко применяют на морских промыслах.

Гуминовые стимуляторы роста растений

Важная характеристика бурых углей – наличие в их составе гуминовых веществ, прежде всего гумусовых кислот, содержание которых меняется в широких пределах (5-80 %) в зависимости от условий залегания углей и других факторов.

Основой скелета молекул гуминовых кислот является ароматическая система, содержащая в качестве заместителей гидроксильные (в основном, фенольные), карбоксильные и метоксильные группы. Обнаружены также эфирные, сложноэфирные и альдегидные группы. Гуминовые кислоты представляют собой полидисперсные системы, которые в зависимости от pH можно разделить на ряд фракций с различными молекулярными массами (обычно 500-50000 ед.). Однако все фракции содержат практически одни и те же функциональные группы, что свидетельствует об общности их строения.

Водорастворимые гуминовые препараты, получаемые из углей, используют в сельском хозяйстве для повышения урожайности сельскохозяйственных культур. Использование гуматов в сельскохозяйственной практике во многом связано с биологической активностью препаратов, обусловленной наличием в них заметного количества карбоксильных, гидроксильных (фенольных) и хиноидной групп. Полученные экспериментальные данные (табл. 1) показали, что в большинстве случаев содержание активных функциональных групп, содержащихся в гуминовых кислотах, хорошо характеризует биологическую активность гуматов натрия.

Гуматы натрия – экологически чистые, безвредные биологические стимуляторы роста и развития растений. Гуматы натрия снижают действие ядовитых химических веществ на растения уменьшает накопление их в растительной массе, в плодах и овощах. Они увеличивают всхожесть семян и энергию прорастания, способствуют прививаемости росту и растения при пересадке, ускоряют рост и развитие растений.

Получение гуминовых стимуляторов роста растений из бурых углей заключа-

Таблица 1

Содержание активных функциональных групп в гуминовых кислотах и биологическая активность гуматов натрия, полученных из бурых углей (по В.В. Родэ)

Уголь (бассейн, месторождение, разрез	Содержание минеральных компонентов в гумате натрия (за вычетом натрия, %)	Содержание активных групп в гуминовых кислотах, мг-экв/г			Биологическая активность: прирост массы растений, % к контролю
		карбоксильные	фенольные	хиноидные	
Южно-Уральский Тюльганское	1-3	3,7-7,2	2,2-2,9	1,1-1,7	30-35
Канско-Агинский Березовское	0-3	3,0-3,2	3,5-3,8	1,0-1,5	27-32
Ирша-Бородинское	1-3	4,0-4,3	2,7-3,0	1,8-2,1	26-31
Низаровское	0-2	4,1-4,3	2,5-2,9	1,5-1,8	30-35
Дальний Восток Нижнее-Бикинский	4-7	3,5-3,8	1,1-1,4	1,0-1,2	13-15
Лучегорский	1-4	3,3-3,5	1,4-1,6	1,2-1,4	15-17
Павловский	2-3	4,1-4,4	1,5-1,7	1,4-1,6	17-21

ется в их взаимодействии со щелочью. Однако технология изготовления УЩР, в настоящее время реализованная на Семеновском заводе горного воска и других мелких установках приводит к получению так называемых балластных гуматов, содержащих до 70 % остаточного угля. По близкой схеме осуществляется производство торфяных гуматов, где также получают балластные препараты. Применение балластных гуматов создает трудности, связанные с засорением почвы, особенно в условиях защищенного грунта и с возможным самовозгоранием товарной продукции при хранении. Балластные препараты гуматов в ограниченном количестве выпускаются и зарубежом – в Венгрии, Италии, США, Японии, главным образом, путем переработки торфов.

Наиболее перспективным является разработка новой технологии получения безбалластных гуммитов, применение которых устраняет отмеченные недостатки. В последние годы активно развиваются работы по получению безбалластных гуминовых стимуляторов роста растений из бурых углей для использования в сельском хозяйстве. В настоящее время разработаны основы технологии и освоена опытная установка (производительностью до 5 т гуматов в год) по получению безбалластных гуматов натрия.

Получение чистых гуматов осуществляется по следующей схеме. Подсушенный измельченный уголь смешивается с водным раствором каустической соды (едкого натрия), смесь выдерживают с перемешиванием при заданной температуре и продолжительности, затем подают на разделение на твердую (не растворившийся остаточный уголь) и жидкую (щелочной раствор гуматов) фаз. Раствор гуматов поступает на сушку для получения твердых гуматов или, в случае применения стимуляторов роста растений вблизи места их производства, доводится до нужной кондиции и используется по своему прямому назначению. Твердый остаток является отходом производства и может быть идти на сжигание, а дистиллат от упаривания можно использовать для повторного приготовления раствора щелочи или его можно сбрасывать в канализацию.

Таблица 2

Повышение урожайности сельскохозяйственных культур при полевых испытаниях безбалластных гуматов натрия

Сельскохозяйственная культура	Рост урожайности, % к контролю
Открытый грунт	
Ранняя капуста	10,3-35,0
Кукуруза на зеленую массу	12,0-20
Кормовая свекла	12,8-20,9
Рапс	26,2-28,3
Многолетние травы	21,0-25,9
Морковь	20,0-26,4
Огурцы	12,5-26,2
Томаты	18,2-24,3
Пшеница	11,0-14,2
Гречиха	13,9-31,7
Просо	14,0-26,5
Горох	15,5-17,8
Подсолнечник	13,8-22,6
Закрытый грунт	
Огурцы	12,5-36,0
Томаты	16,5-25,0

Технология производства безблластного гумата натрия отработана в условиях опытной установки на Жилевской ОПОФ (Московская область). В течение 10 лет гуматы (до 2 т/год) поставлялись и с успехом применялись более чем в 15 сельскохозяйственных предприятиях с использованием в открытом и закрытом грунтах (табл. 2).

Для организации промышленного производства разработан технический проект установки по получению 500 т сухого порошка гуматов из бурых углей в год. Выход гуматов зависит от свойств угля и колеблется в пределах 10-30 % в расчете на сухой беззольный уголь. Так, например, для получения 500 т гуматов в год потребуется 6410 т угля Тюльганского буроугольного бассейна или 2100 т угля Канско-Агинского бассейна.

Небольшие хозяйства используют также микробиологический способ производства безбалластного гумата натрия из бурого угля либо торфа. Его производят во многих местах России, однако производительность способа ограничена. Срок окупаемости ус-тановки в Жилево 7-8 месяцев. Годовой расход энер-горесурсов: электроэнергия – 222 тыс. кВт/час; пар – 1500 Гкал; вода – 23 тыс. м^3; численность обслуживающего персонала – 34 чел.

При микробиологическом способе производство гуматов ниже, но оно требует для круглогодового производства размещения установки, достаточно простой, в помещении.

Подобные установки можно сооружать во всех угольных бассейнах, располагающих запасами бурого угля (от Подмосковного до Южно-Якутс-кого) и успешно применять гуматы для повышения урожайности сельскохозяйственных культур на 15-25 % как в открытом, так и в закрытом нрунтах. В г. Сургуте гуматы производятся из местных торфов. ГИАБ

Коротко об авторе

Шумейко М.В. – кандидат экономических наук, директор представительства в странах СНГ компании «Continental contitech.

Рецензент д-р техн. наук, проф. *Ю.А. Чернегов.*

© М.В. Шумейко, 2008

УДК 622.332/54

М.В. Шумейко

РАЗРАБОТКИ ОАО «ТЕРМОКОКС» ПРИМЕНИТЕЛЬНО К РЯДУ ОТРАСЛЕЙ И ИХ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА

Выделены и охарактеризованы химические вещества, получаемые экстракцией из бурого угля, описаны возможные сферы их применения, приведены результаты технико-экономического исследования производства угольных сорбентов из канско-ачинских углей.

Экстракционные технологии и продукты переработки бурых и некондиционных углей

Бурый уголь, окисленные каменные угли низкой степени метаморфизма не представляют значительного интереса в качестве энергетических источников. С другой стороны, комплексный химико-технологичес-кий подход к освоению этих ископаемых обеспечивает получение широкого класса химических веществ, которые могут использоваться в различных отраслях промышленности.

Это обстоятельство должно вызвать значительный интерес к данным видам твердых горючих ископаемых (ТГИ) не только как к топливу, но и как к сырью для приготовления органических удобрений, получения сырых и модифицированных восков, ростовых веществ и биостимуляторов, медицинских препаратов, красителей для древесины, стабилизаторов и разжижителей в производстве строительных изделий, разнообразных материалов для сельского хозяйства, бытовой химии, химической технологии. Одним из основных технологических приемов для получения этой широкой гаммы практически важных веществ из ТГИ является экстракция.

Экстракция – извлечение растворимых веществ из какого-либо сырья органическими или неорганическими растворителями, позволяет избирательно получать интересуемое вещество практически в неизменном виде.

Отказ от применения высоких температур и пиролиза при переработке ТГИ методом экстракции способствует наибольшей сохранности природного потенциала углей, исключает термическое разрушение целевых продуктов – экстракционных восков, смол, гуминовых веществ. Стоимость товарной продукции (воска-сырца) только первичной экстракционной переработки 1 т бурых углей в зависимости от сырья составляет около 100-200 евро.

Сырой буроугольный воск (синонимы: горный воск, монтан-воск, битум А), извлекаемый из битуминозных бурых углей (обычно группы 1Б) путем экстракции органическими растворителями (бензол, толуол, бензин и др.), представляет собой смесь собственно восковых компонентов и смол. Количественный выход сырого воска (битума А) из угля, выраженный в процентах к массе угля, обозначается термином «битуминозность». Содержание восковых и смоляных составляющих в битуме колеблется в широких пределах в зависи-

мости от многих факторов, применяемых при экстракции растворителей, условий экстракции, видов сырья и др. Восковая часть представлена, Главным образом, сложными эфирами высших жирных одноосновных кислот (С 16 - С32 и выше) и высокомолекулярных одноатомных (редко – двухатомных) спиртов с четным число атомов углерода. В зависимости от природы объекта, из которого извлекался воск, а также от параметров экстракции химический состав восковой части и смол может изменяться в широком диапазоне. Все видовое многообразие восков по производственному критерию можно свести к следующим основным типам:

- исходный, или сырой, воск, представляющий собой экстракт, извлеченный органическими растворителями из бурого угля;
- обессмоленный воск, полученный путем удаления из сырого воска смолистой части;
- рафинированный воск, т.е. осветленный, полученный из обессмоленного воска;
- этерифицированный воск, полученный путем этерификации рафинированного воска моно-, ди- или полиатомными спиртами или их смесями.

Благодаря ряду ценных свойств горный воск и продукты его переработки применяются более чем в 200 отраслях промышленности: в литейном производстве, в изготовлении полирующих и защитных композиций для различных покрытий, в бумажной, кожевенной промышленности, в кос-метике, медицине, бытовой химии и многих других. Стоимость одной тон-ны горного воска-сырца достаточно высока и составляет около 3000 евро. По мере переработки сырого воска в более квалифицированные продукты – обессмоленные рафинированные, эритрифицированные воски – его стоимость значительно увеличивается.

Смолистые вещества в настоящее время считаются отходом производства обессмоленного воска. Однако, в свою очередь, они могут при-меняться в производстве антикоррозионных покрытий, антиокислительных и полифункциональных присадок к смазочным маслам, в консервационных составах, в качестве флотореагентов. Привлекает внимание возможность выделения из экстракционных смол бурых углей фракции углеводородов, обладающих высокой биологической активностью (терпеновые и стеариновые соединения). Благодаря своим свойствам компоненты экстракционных смол могут найти широкое применение в медицине, сельском хозяйстве и парфюмерно-косметической промышленности.

Гуминовые вещества содержатся в большом количестве (до 70 % на daf) в бурых углях, окисленных и выветрившихся каменных углях низкой стадии метаморфизма. Причина интереса к гуминовым веществам - наличие у них разнообразных специфических свойств, открывающих возможности их широкого практического использования во многих отраслях. Наибольшее внимание в настоящее время привлекает возможность создания на основе гуминовых веществ следующих препаратов:

- биостимуляторов для сельского хозяйства (как для растениеводства, так и для животноводства;
- сорбционных и ионообменных материалов, которые представляют практический интерес в качестве сорбентов металлов из сточных вод, при дезактивации радиоактивных вод, для извлечения металлов из бедных руд; возможно приготовление очень широко-

го класса новых высокоактивных недорогих ионитов;

- комплексных гуматных удобрений и материалов для рекультивации земель;
- реагентов для регулирования реологических свойств водных суспензий и растворов (для бурения скважин, производства строительной керамики, приготовления водоугольного топлива – ВУТ);
- красителей для древесины, картона и технической бумаги.

Твердый остаток угля после извлечения экстракционных веществ – сырье для полукоксования, газификации, ожижения, энергетики, а также для получения редких элементов, недорогих адсорбентов, строительных и ионообменных материалов. Несмотря на широкие перспективы комплексного использования низкосортных углей, в настоящее время основным продуктом их экстракционной переработки является горный воск. Крупнейший производитель восков в мире - Германия выпускает до 50 тыс. т восков в год, что составляет более 80 % мирового производства. В Бразилии ежегодно производится 10 тыс. т этого продукта, получаемого из карнаубской пальмы. В России воски не производятся, хотя их дефицит в стране, по экспертным оценкам, составляет около 5 тыс. т в год.

Считается, что для приемлемой экономической эффективности сырье должно иметь битуминозность выше 6-6,5 %. Для повышения извлечения восков из бурых углей применяют различные растворители или добавки к ним, а также новые высокопроизводительные экстракторы. Однако, все методы ориентированы на традиционный вид сырья – высокобитуминозные бурые угли и не дают возможности вовлечь в переработку их низкобитуминозные формы, либо кардинально улучшить существующие технологии. Химическое модифицирование углей в целях повышения выхода или получения облагороженных экстракционных продуктов не применяется.

В Институте угля и углехимии СО РАН ведется работа по повышению эффективности экстракционной переработки бурых углей посредством их химической модификации алкированием. Алкирующее воздействие на органическую массу угля является одним из самых эффективных способов увеличения растворимости углей. Наиболее подходящие объекты для такого вида модификации – бурые угли, каменные угли низких стадий метаморфизма и их окисленные формы, ресурсы которых в России весьма значительны.

Достигнуто кардинальное увеличение выхода воска - втрое превышающее его выход из природного сырья. Впервые удалось модифицировать и экстрагировать сырье в одну стадию в мягких технологических условиях (температура до 120 °С, атмосферное давление), исключающих термическое разрушение целевых продуктов. Способ выгодно отличается применением недорогих реагентов и технологической гибкостью. По своим физико-химическим характеристикам полученный из алкилированного Александрийского бурого угля (Украина) воск является высококачественным продуктом, сравнимым с различными марками этерифицированного или растительного (карнаубского) воска. Следует отметить, что традиционно в промышленности этерифицированные воски получают в результате многостадийной переработки сырого горного воска.

Алифатические соединения восковой фракции битума, полученные из алкилированных углей, с успехом могут применяться как самостоятельные продукты, так и в качестве полупродуктов для дальнейшего органического синтеза.

В результате алкилирования углей повышается выход и других ценных продуктов – смол (в 2-3 раза) и гуминовых веществ (на 20 %). Предварительное алкилирование может улучшать характеристики не только восков, но и целой гаммы продуктов, получаемых из смол, гуминовых веществ и остаточного материала, направления использования которых изложены выше. Например, отмечено увеличение биологической активности гумата натрия, полученного из алкилированного угля к семенам пшеницы (+13 %). Модифицирование углей алкилированием приводит к значительному (до 19 %) увеличению органической массы угля. Отмечено увеличение содержания водорода (с 6,8 до8,4 %) в образцах алкилированных углей, даже после проведения экстракции битума. То и другое обстоятельство могут оказаться полезными при последующей переработке твердого остатка в

Проведены эксперименты по изучению возможности получения углеродных сорбентов из остатков бурых углей после алкилирующей обработки и экстракции восков и смол. Удельная поверхность и сорбционная активность полученных на их основе углеродных сорбентов остается на уровне требований к отдельным маркам промышленных активных углей, что в совокупности с повышенным выходом таких сорбентов позволяет рекомендовать совмещение процессов получения восков и активных углей для более рационального использования низкометаморфизованных полезных ископаемых. Для создания промышленного комплекса экстракционной переработки бурых углей Россия обладает достаточной сырьевой базой. Согласно экспертным оценкам к перспективным месторождениям относятся: в Южно-Уральс-ком бассейне: - Тюльганское (запасы категории А = В+С 258 млн т, битуминозность 7-14 %), Хабаровское (334 млн т , битуминозность 11,3 %), Южно-Куюргазинское (106 млн т, битуминозность 7,4 %). Репьевсое (71,2 млн т), Маячное (38,4 млн т, битуминозность 15 %), Яман-Юшатырское (78,1 млн т), Быковское (38 млн т).

Значительные запасы битуминозных углей имеются на Дальнем Востоке. Крупными месторождениями являются: Свободное (1691 млн т, битуминозность 11,7 %), Тыгдинское (466 млн т, битуминозность 6,3 -8%) и Павловское (358 млн т, битуминозность 6,7 %). Кроме того, на западном участке БАМа расположено Хандинское месторождение, характеризующееся значительными запасами бурых углей с битуминозностью 3,3 -11,0 %. Таким образом, возможно создание высокорентабельной комплексной экстракционной технологии переработки бурых и низкосортных углей с получением широкого ряда продуктов на базе восков, смол, гуминовых веществ и остаточного органического материала в единой последовательной технологической линии.

В статье использованы некоторые результаты работы, выполненной энергетической компанией «Сибтермо» по заказу ОАО «Сибирская угольная энергетическая компания» в рамках договора на тему «Технико-экономическое исследование по расширению сферы применения углей ОАО «СУЭК». Существенным отличием результатов, полученных

в заказанной работе, было использование иного критерия оценки социально-экономических результатов, чем использование в отчете по договору. Критерий разработан коллективом авторов под руководством академика В.А. Трапезникова, и его принципиальным отличием было то обстоятельство, что по данным статистической отчетности, полученной по 10 странам с плановой и рыночной экономикой, было установлено, что новый критерий, названный «Темпом технического прогресса», численно совпадает с показателем «Темп роста уровня жизни». Одновременно он характеризует и экономическую эффективность новых технологических и организационно-управленчес-ких решений.

В силу этого критерий «Темп технического прогресса» с полным правом может называться социально-экономическим.

Оценке подлежат следующие реализованные и реализуемые в настоящее время проекты:

1. Технико-экономическое исследование производства углеродных сорбентов из канско-ачинских углей.
2. Технико-экономическое исследование перевода теплофикационных котельных с природного газа (и мазута) на газиз угля.
3. Технико-экономическое исследование производства среднетемпературного кокса, электрической и топливной энергии из углей марки Д.
4. Технико-экономическое исследование производства коксобрикетов из среднетемпературного кокса.
5. Технико-экономическое исследование по использованию среднетемпературного буро-угольного кокса из канско-ачинских углей на агломерационных предприятиях.
6. Технико-экономическое исследование по обеспечению ОАО «Ачинский глиноземный комбинат» (АТК) коксом из канско-ачинского угля.
7. Технико-экономическое исследование по использованию среднетемпературного кокса из канско-ачинских углей на предприятиях по производству цемента.
8. Технико-экономическое исследование по использованию среднетемпературного кокса из канско-ачинских углей как компонента на металлургических предприятиях России и Украины.

I. Технико-экономическое исследование производства угольных сорбентов из канско-ачинс-ких углей.

Технико-экономическое исследование разработано для низкозольных углей Березовского месторождения Канско-Ачинского бассейна с теплотой сгорания

$Q_H^P =$ 3700 ккал/кг.

Производство недорогих угольных сорбентов из ископаемых углей – наиболее перспективный способ решения экологических проблем. Одновременно обеспечивается генерация тепловой энергии при сжижении попутного горючего газа (для производства пары).

Расчеты выполнены в рублях в ценах и тарифах на 01.07.2007.

Цены на продукцию:

уголь 2Б (($Q_H^P = 3700 ккал/кг$) 260 руб/т

отсев угля после дробления 175 руб/т

сорбент марки АБГ-Д 30000 руб/т

сорбент марки АБГ-П 25000 руб/т

тепловая энергия 700 руб/Гкал

Объем продукции

- исходный уголь 156000 т/год
- потребление сортового угля 101600 т/год
- выход отсева мелкого угля при дроблении 54400 т/год

- выход сорбента марки АБГ-Д 10000 т/год
- выход сорбента марки АБГ-П 7000 т/год
- производство тепловой энергии 200000 Гкал/год

Итого товарной продукции:
30 000*10 000 + 25 000*7 000 +
+200 000*700 + 54 400*175 =
=30 000 000 руб. + 175 000 000 +
+140 000 000 + 6 020 000 =
=621 020 000

Промышленно-производственный персонал – 80

Инвестируемый капитал – 330 047 560

Уровень технологии =

$$= \frac{621020000*621020000}{80*330047560}$$

1,88*7162750 = 14656072*10^3 ГИАБ

Коротко об авторе

Шумейко М.В. – кандидат экономических наук, директор представительства в странах СНГ компании «Continental contitech.

Рецензент д-р техн. наук, проф. *Ю.А. Чернегов.*

© М.В. Шумейко, 2008

УДК 662.74

М.В. Шумейко

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕВОДА ТЕПЛОФИКАЦИОННЫХ КОТЕЛЬНЫХ С ПРИРОДНОГО ГАЗА И МАЗУТА НА ГАЗ ИЗ УГЛЯ

Описан проект перевода котельных с природного газа и мазута на газ из угля , в основу которого положена концепция производства металлургического кокса с одновременным получением горючего газа, который будет использован для производства тепла и электрической энергии.

В основу проекта положена технология газификации угля в слоевых аппаратах. Отличительной особенностью технологии является экологическая безопасность и простота аппаратурного оформления. Главная его особенность заключается в том, что за счет использования «эффекта обратной

Технологические показатели блока газификации

Наименование показателя	Единица измерения	Уголь 2Б $Q_H^P = 3700 ккал/кг$	Уголь Д $Q_H^P = 5400 ккал/кг$
Потребление угля	т/год	72 000	49 400
Выход недожога	т/год	6 480	7 410
Выход горючего газа	$нм^3$/т угля	2 600	3 800
Теплота сгорания газа	ккал/ $нм^3$	1 000	1 050
Численность промышленно-производственного и административно-управленческого персонала	чел.	25	25
Инвестируемый капитал	млн. руб.	211,6	215,8

тепловой волны» получаемый газ вообще не содержит смолистых веществ. Технология защищена патентами РФ и ЕАПО (Патент РФ № 2287011, Евразийский патент № 007798).

Газ производится с калорийностью 1000-1100 ккал/$м^3$ (4,2-4,6 МДж/$м^3$) и имеет температуру на выходе из аппарата около 350 °С. После аппарата газ направляется непосредственно в горелочное устройство. При его сжигании в факеле достигается температура не менее 1000 °С. Газ сгорает совершенно бездымно и не требует очистки перед сжиганием, поскольку не содержит смолы.

В качестве исходного топлива для производства газа рекомендуется использовать дробленый уголь с калорийностью не менее 3000 ккал/кг (12,6 МДж/кг) и с размером частиц от 3 до 50 мм.

Оборудование изготавливается в виде независимого блока газификации угля, который размещается в непосредствен6ной близости или на некотором удалении (до нескольких километров) от места сжигания. Мощность блока газификации может составлять 1-100 Гкал/час (до 120 МВт) или в пересчете на уголь от сотен килограммов до десятков тонн в час. Удельные затраты зависят от индивидуальных условий использования блока газификации и составляют примерно 70-120 USD/кВт установленной мощности.

Недожог. Является побочным продуктом газификации угля. Его выход ~90 кг на 1 т загружаемого угля. Теплота сгорания недожога – 400 ккал/кг. Зольность – 95 %. Недожог может использоваться как добавка в производстве кирпичей и т.д.

ТЭИ разработано для двух видов угля:

- канско-ачинский уголь марки 2Б с $Q_H^P = 3700 ккал/кг$
- кузнецкий уголь марки Д с $Q_H^P = 5400 ккал/кг$

Цены на энергоносители приняты на основе публикуемых внутренних цен.

Вследствие низкой скорости фильтрации нет выноса летучей золы и пыли, газификатор работает как зернистый фильтр. Горючий газ без очистки пригоден для сжигания в газовой турбине или котле.

Поэтому объем товарной продукции определяется как произведение объема потребления угля на цену по маркам.

Объем производства генераторного газа принимается одинаково.

Уровень технологии при использовании угля марки 2Б

$$\frac{288 \cdot 10^5 \cdot 288 \cdot 105}{25 \cdot 211,6 \cdot 10^6} =$$

$$= 11,52 \cdot 10^5 \cdot 1,361 \cdot 10^{-1} = 1,56787$$

Уровень технологии при использовании угля марки Д

$$\frac{494 \cdot 9 \cdot 10^4 \cdot 494 \cdot 9 \cdot 10^4}{25 \cdot 215,8 \cdot 10^6} =$$

$$= \frac{4446 \cdot 10^4 \cdot 4446 \cdot 10^4}{25 \cdot 215,8 \cdot 10^6} =$$

$$= \frac{4446 \cdot 10^8}{25 \cdot 215,8 \cdot 10^6} = \frac{2060}{25} = 82,4$$

В исследовании расчет эффективности перевода котельных с природного газа и мазута на газ из угля (генераторный газ) выполнен с использованием угля переработки объемов потребляемого угля по мощам 2Б и Д (раздельно) и цен на эти угли, поскольку цены на генераторный газ не приводятся, так как пока рекомендуемый проект не реализован и рыночные цены на него неизвестны. Поэтому использованы результаты расчета себестоимости углей (по маркам) и эффективности их использования.

При цене природного газа ~50 долл. США/тыс. м^3 (средняя цена в настоящее время на внутреннем рынке) перевод газовых котельных на газ из угля не эффективен, т.к. себестоимость газа из угля в пересчет на энергетический эквивалент выше, чем природного газа.

При планируемом повышении цен природного газа до уровня мировой (за вычетом трафика она составит 160-180 долл.США/тыс. м^3) перевод газовых котельных на гази из гуля будет эффективен при уровне цен с доставкой:

- угля 2Б – 690 руб/т при цене природного газа 160 дол. США/тыс. м^3;
- 820 руб. При цене природного газа 180 дол.США/тыс. м^3;
- угля Д – 1050 руб/т при цене природного газа 160 дол.США/тыс. м^3;
- 1250 руб/т при цене природного газа 180 дол.США/тыс. м^3;
- 1250 руб. при цене природного газа 180 дол.США/тыс. м^3.

При существующем уровне цен на топочный мазут (от 6000 руб/т) перевод мазутных котельных на газ из гуля эффективен даже при достаточно дальней транспортировке угля. Перевод при цене топочного мазута 6000 руб/т эффективен при уровне цен с доставкой

- угля 2Б – 1060 руб/т;
- угля Д – 1480 руб/т.

Более высокому уровню технологии соответствует более высокий допустимый уровень себестоимости производства газа из угля.

При этом необходимо отметить, что в целом уровень технологии при переводе теплофика угольных котельных с природного газа и мазута на газ из угля является недостаточным.

III. Производство среднетемпературного кокса, электрической и тепловой энергии из углей марки Д

В основу данного проекта положена концепция производства коксовой продукции с одновременным получением горючего газа многоцелевого использования (его доля в энергетическом балансе процесса составляет от 30 до 50 % в зависимости от типа угля) из дешевых энергетических углей. В основу технологии положен процесс неполной газификации (окислительного пиролиза) угля на воз-душном дутье в режиме «Обратной тепловой волны», разработанной специалистами компании «Сибтермо» и защищенной патентами РФ и ЕАПО (Патент РФ № 2288937, Евразийский патент № 007799). Прототипом является промышленное предприятие, которое

построено в г. Красноярске в 1996 г. (с 2001 года завод «Карбоника-Ф»).

Технологический процесс (серия процессов «Термококс») прост в аппаратурном оформлении, отличается низкими капитальными и эксплуатационными затратами, энергоэффективен и экологически безопасен.

Полученный среднетемпературный кокс по качеству превосходит известные отечественные и зарубежные аналоги и ориентирован на существующий емкий и стабильный рынок – черную металлургию: выпуск чугуна, стали, ферросплавов и рудных агломератов, а также быстрорастущий рынок продуктов природоохранного назначения – сорбентов. Продукт имеет высокий экспортный потенциал.

Генерируемая при сжигании газа энергия ориентирована на существующий рынок тепла электроэнергии на порядок ниже, чем в угольной котельной. При этом издержки на генерацию тепловой и электрической энергии при сжигании горючего газа покрываются высокой ценой на основной продукт – кокс, а тарифы на отпускаемую энергию существенно ниже по сравнению с традиционным сжиганием угля или природного газа.

В работе определены технико-экономические показатели энерготехнологического комплекса. В исследовании рассматривается строительство энерготехнологического комплекса для производства среднетемпературного металлургического кокса из каменного угля, а также покрытия тепловых и электрических нагрузок объектов жилья и социальной сферы в г.Ленинск-Кузнецкий.

Потребности энерготехнологического комплекса в угле марки Д составят 600 тыс.т в год.

Мощность энерготехнологического комплекса по готовой продукции составляет:

- среднетемпературный кокс – 250 тыс. т в год;
- генераторный газ – 1,0565 млрд $м^3$/год (1005 Гкал/год);
- отсев угля – 100 тыс. т в год.

Завод среднетемпературного кокса является единственным промышленным производителем в СНГ. Годовая производительность завода по среднетемпературному коксу составляет 70 тыс. т. Основным сырьем является каменный уголь Моховского разреза. Отпускная цена (с НДС) завода среднетемпературного кокса – 143 дол/т.

Завод не в состоянии закрть сложившийся дефицит продукции. Потребность в среднетемпературном коксе для ферросплавных и электрометаллургических производств СНГ на сегодня оставляет до 1 млн т в год, в том числе:

- ОАО «Кужеукие ферросплавы» - 50 тыс. т;
- Серовский завод ферросплавов – 70 тыс. т;
- Челябинский электрометаллургический комбинат – 60 тыс. т;
- Никопольский ферросплавный завод – 120 тыс. т;
- Норильский ГМК – 80 тыс. т;
- Аксузский и Актюбинский ферросплавные заводы – 150 тыс. т;
- Темиртаузский ХМЗ – 50 тыс. т;

и другие.

В качестве неполноценного заменителя на ферросплавных заводах используется кокс марки КО (коксовый орех), который не соответствует требованиям производств по электропроводности и реакционной способности и цена на который составляют порядка 200 дол.США/т.

Создание энерготехнологического комплекса мощностью 250 тыс. т среднетемпературного кокса в год обеспечит гарантированный сбыт продукции.

Энерготехнологический комплекс позволяет решить проблему централизованного теплоснабжения г. Ленинск-Кузнецкий, в котором мелкие угольные котельные создают неблагоприятную экологическую обстановку.

Положенная в основу проекта технология имеет принципиальные отличия от традиционной технологии среднетемпературного коксования и характеризуется полным отсутствием побочных вредных продуктов.

Получение кокса по технологии «Термококс» по сравнению с традиционной технологией в коксовых батареях, позволяет снизить удельные выбросы:

NO_x – в 20 раз; SO_x – в 4,5 раза; пыли – в 1,5 раза; веществ 2-го класса опасности в 23 раза. Производственные сточные воды и вещества 1 класса опасности в технологии «Термококс» не образуются.

Удельные вредные выбросы при сжигании генераторного газа на порядок ниже, чем при сжигании угля, и сопоставимы с удельными выбросами котельной установки на природном газе. При этом производимый среднетемпературный кокс имеет значительное преимущество перед традиционным коксом по целому ряду показателей (зольность, содержание фосфора, РС, пористость, УЭС), характеризуется высокой термической стоимостью и удовлетворительной структурной прочностью.

В основу проекта положена концепция производства металлургического кокса с одновременным получением горючего газа, который будет использован для производства тепла и электрической энергии.

Наилучшим сырьем для производства среднетемпературного кокса являются низкозольные кузнецкие угли марок Д, ДГ и Г, добыча которых ведется в промышленном районе Белово – Ленинск-Кузнецкий. Срок исчерпания запасов углей значительно превышает срок эксплуатации энерготехнологического комплекса. В качестве сырья возможно использование угля марок ДКО (25-100 мм), ДПКО (25-300), ГО (25-50), ГКОМ (13-100), ДМ (13-25).

При разработке технолого-экономического исследования исходным сырьем для получения кокса принят уголь марки Д с теплотой сгорания 6100 ккал/кг, из которой наработана опытная партия среднетемпературного кокса.

Плотность угля – 1,3 т/м^3;

Насыпной вес угля – 0,8 т/м^3.

Товарной продукцией энерготехнологического комплекса является среднетемпературный кокс СК с теплотой сгорания 6920 ккал/кг. Основное назначение продукции – использование среднетемпературного кокса в электротермических производствах, в т.ч. в ферросплавном.

Плотность кокса – 1,8 т/м^3;

Насыпной вес кокса – 0,6 т/м^3.

По заключению ФГУП «Кузнецкий центр ВУХИН» продукт по потребительским качествам превосходит известные аналоги.

Возможны следующие направления использования среднетемпературного кокса:

1. Электротермические производства ферросплавов, карбида кальция и фосфора;
2. Агломерация железных руд и руд цветных металлов;
3. Производство карбюризатора для науглероживания стали;
4. Пылевидное топливо в доменном производстве для вдувания в горн доменных печей;
5. Отощающая добавка в коксохимическом производстве для производства доменного и литейного кокса;

6. Сорбент экологического назначения;

7. Производство коксобрикетов или минеральных полушихт для металлургических производств с использованием топливно-восстановительно-го потенциала среднетемпературного кокса;

8. Бездымное топливо для коммунально-бытовых теплоэнергетических установок;

9. Газификация среднетемпературного кокса для получения синтез-газа.

Объем потребления по перечисленным направлениям использования среднетемпературного кокса оценивается в 5 млн. т в год. Продукт имеет высокий экспортный потенциал.

Производимый на энерготехнологическом комплексе генераторный газ предназначен для использования в качестве топлива для производства тепла и электроэнергии на собственной газовой ТЭЦ.

Горючий газ имеет низкую теплоту сгорания Q_H^P, ккал.

- сухой газ 852;
- влажный газ 777.

Температура газа, °С 350.

Отсев мелкого угля (фракция 0-10 мм) востребована на рынке как топливо.

Энерготехнологический комплекс представляет собой единый комплекс, который размещается на одной площадке. Комплекс включает:

- топливно-транспортный цех;
- цех производства кокса;
- газовую ТЭЦ;
- сооружения очистки ливневых сточных вод;
- сооружения инфраструктуры (сети водо-, тепло-, электроснабжения, автодорог).

Кокс получают в аппаратах (газификаторах) шахтного типа периодического действия методом слоевой газификации угля на воздушном дутье в режиме «обратной тепловой волны».

Для обеспечения газификаторов воздухом предусматривается отдельно стоящее здание, оснащенное газодувками.

Выход среднетемпературного кокса – 0,5 т/т угля, в том числе

- фракция – 0-10 мм – 80 %;
- фракция – 10-50 мм – 20 %.

Выход горючего газа – 2018 нм^3/т угля

Теплота сгорания газа – 777 ккал/нм^3

Годовое производство генераторного газа составляет 1056 млн м^3/год.

В составе энерготехнологического комплекса предусматривается строительство газовой ТЭЦ мощностью 125 Гкал/г.

Доставки исходного угля и отправка готовой продукции (кокса и отсева угля) осуществляется вместимостью 60 т угля и 45 т кокса.

При этом поступает исходный уголь в количестве 600 000 т/год.

Отправляют:

- отсев угля 0-10 мм – 100 000 т/год;
- кокс среднетемпературный фракции 10-50 мм – 200 000 т/год;
- кокс среднетемпературный фракции 0-10 мм – 50 000 т/год.

Технолого-экономическое исследование предусматривает строительство собственной ТЭЦ с использованием в качестве топлива генераторного газа собственного производства.

Сменный промышленно-производственный персонал предприятия составляет 150 человек.

Электрическая энергия потребителям 355 млн кВт – г/год.

Тепловая энергия потребителем 625 тыс. Гкал/год.

Стоимость товарной продукции

1. Отсев угольной мелочи (0+5 мм) – 418,9 руб/т

при количестве отсева – 100 000 т/год
всего
100 000·418,9 = 41 890 000 руб.

2. Среднетемпературный кокс фракции +10
4273,1 р/т·200000 т=854620000 руб.

3. Среднетемпературный кокс фракции (-10) 94 260 000 руб.

4. Электроэнергия
330 000 000·1,00 = 330 000 000 руб.

5. Тепловая энергия
625 000·450 = 281 250 000 руб.

Итого: 1 602 020 000 руб.

Уровень технологии

$$\frac{1602020000 \cdot 1602020000}{150 \cdot 1951917000} =$$

$$= \frac{0.82 \cdot 1602020000}{150} =$$

$$= \frac{1314844883}{150} = 8765632$$

IV. Технико-экономическое исследование производства кокс-собрикетов на основе полукокса из канско-ачинских углей

Технико-экономическое исследование создания энерготехнологических комплексов мощностью 412 тыс. кокс-собрикетов (формованного топлива) в год разрабатывается для оценки экономической целесообразности их производства для нужд металлургии и ЖКХ. Технико-экономическое исследование включает основные технические решения, обосновывающие выбор оборудования и влияющие на определение сметной стоимости строительства и основные технико-экономичес-кие показатели.

Технология производства полукокса защищена патентами РФ и ЕАПО (Патент РФ № 2285135, Евразийский патент № 007801) и отработана на уровне типового котла КВТСВ-20 (мощностью 20 Гкал/час) котельной разреза «Березовский-1».

Численность промышленно-производственного персонала – 500 человек.

Потребление угля 2Б – 1330 т/год
Потребление связующего – 82 тыс. т в год.
Производство брикетов – 412 тыс. т в год.
Отработка электроэнергии – 824 млн. кВт-2.
Полезный отпуск тепла – 930 000 Гкал/год.

Расчеты выполнены в рублях в ценах и тарифах на 01.08.2007.

уголь 2Б, Q_H^P = 3700 ккал/кг 220 руб.
связующее (жидкое стекло) 3500 руб./т
1 Гкал 700 руб.
1 кВт-2 1 руб.
стоимость брикетов 3000 руб/т
инвестируемый капитал 3 632 646 тыс. руб.

Объем реализации брикетов в стоимостном выражении – 1236 млн руб/год (цена брикетов – 3000 руб/т).

Брикетирование продукта из угля можно разделить условно на три класса:

- формованный кокс (выход летучих веществ 3–15 %);
- бездымное бытовое топливо (выход летучих веществ <20 %);
- рядовые брикеты (выход летучих веществ >20 %).

Формованный кокс (брикетированный и гранулированный) имеет пониженную по сравнению с классическим коксом, прочность и не применяется для доменных процессов. Формованный кокс используется как бытовое топливо и заменитель кокса в технологических процессах, где нет жестких требований по прочности:

- в литейном производстве;
- в электротермических процессах – производство ферросплавов, карбидокремния и кальция;
- в агломерационных процессах;
- как технологическое топливо в цветной металлургии.

Бытовое бездымное топливо получило широкое распространение в Великобритании после принятия в 1956 году «Закона о чистом воздухе», а затем в других развитых странах. В Англии производится более 30 видов бездымного бытового топлива, отличающегося составом сырья (используют антрацит, каменные угли, коксовую мелочь, полукокс) и способом производства.

Производство бытовых брикетов в развитых странах прекращено по экономическим причинам. В Восточной Европе и развивающихся странах с 90-х годов выпуск этого вида топлива уменьшается.

Все известные и апробированные методы брикетирования мелкозернистого полукокса (кокса) по температурному признаку можно подразделить на методы «горячего» и «холодного» брикетирования.

Сущность метода горячего брикетирования сводится к брикетированию смеси, состоящей примерно на 75 % из горячего полукокса (t ≈750 °С) и 25 % из спекающегося угля, переходящего в контакте с полукоксом в пластическое состояние и обеспечивающего требуемые реологические характеристики смеси при ее брикетировании при температуре 400-500 °С (например, с помощью вальцевого пресса). Полученные брикеты рекомендуется подвергать дополнительной термообработке при температуре 750-850 °С.

Технология так называемого «холодного» брикетирования достаточно широко распространена в различных странах и применяется для получения брикетов различного назначения из углей и угольных шламов, коксов и полукоксов, пылеватых руд, пылей и шламов газоочистных установок и т.д. Все работающие в настоящее время в различных странах (Германия, Франция, Япония, Индонезия, Россия, Украина и т.д.) брикетные фабрики, получающие топливные брикеты из коксовой мелочи, каменных и бурых углей, базируются исключительно на технологии «холодного» брикетирования.

Суть технологии «холодного» брикетирования углей, а также полученных из них полукоксов, сводится к сжатию их смеси с жидкими, пластично-вязкими или расплавленными связующими при давлении 25-100 МПа и температуре 25-150 °С с использованием прессов различных конструкций. Полученные брикеты могут использоваться как без дальнейшей обработки (топливные брикеты), так и после дополнительной термокислительной или термической обработки (технологические брикеты).

На основании критического анализа технологических процессов Брикетирования мелкозернистого кокса и полукокса отдано предпочтение методам холодного их брикетирования со связующими как более простым и подготовленным к промышленному внедрению.

В данном технико-экономическом исследовании рассматривается малооперационная технология «холодного» брикетирования буроугольного полукокса (БПК) с использованием водорастворимых связующих (лично сульфанаты жидкого стекла и мелассы), отличающихся от классической технологии брикетирования на углеводородных связующих (пек, нефтебиту) простотой и меньшими энергозатратами.

Стоимость товарной продукции энерготехнологического комплекса.

Для брикетов со связующим на жидком стекле

Объем производства брикетов 412 000 т/год

Стоимость брикетов 3000 руб/т

Итого добавка к товарной продукции

412 000·3000 = 1 236 000 000 руб.

(300·0,7 + 890·0,3)0,85 + 3500·0,15= = 930 руб./т

412 000 т/год ·930 руб/т = =383 160 000 руб.

Отпуск электроэнергии

824 000 000 кВт-2 · 1 руб./кВт-2 = =824 000 000 руб.

Полезный отпуск тепла

930 000 Гкал/год · 700 руб./Гкал = =651 000 000

383 160 000 + 824 000 000 + 651 000 000 = 5 784 180 000 руб. – стоимость товарной продукции

Инвестируемый капитал 1 858 160 000

Уровень технологии

$$\frac{1858160000*1858160000}{500*6632646000}=$$

$$=\frac{1858160000*0,51}{500}=$$

$$=\frac{947661600}{500}=1895323$$

ГИАБ

Коротко об авторе

Шумейко М.В. – кандидат экономических наук, директор представительства в странах СНГ компании «Continental contitech.

Рецензент д-р техн. наук, проф. *Ю.А. Чернегов.*