Энергосберегающие технологии

УДК 662.61.747

Перспективы внедрения экологически чистых энерготехнологий переработки низкосортных углей Украины

Пинчук В.А., Потапов Б.Б.

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

Для реализации технологии комплексного использования низкосортных углей предложен энерготехнологический комплекс, обеспечивающий полную утилизацию побочных и вторичных энергетических ресурсов в собственном роизводстве и смежных отраслях промышленности. Технология использования генераторного газа реализуется на базе парогазовой установки с внутрицикловой газификацией. Обоснована энергетическая и экологическая эффективность высокотемпературной газификации углей в закрученном пылеугольном потоке с отделением зольной части в виде расплава. Показано, что экономическая целесообразность реализации такого процесса может быть достигнута вследствие утилизации физической теплоты продуктов процесса, а также побочным производством гранулированного шлака и концентрата редких микроэлементов.

Ключевые слова: низкосортные угли, высокотемпературная газификация углей, закрученный пылеугольный поток, генераторный газ, гранулированный шлак.

Для реалізації технології комплексного використання низькосортного вугілля запропоновано енерготехнологічний комплекс, що забезпечує повну утилізацію побічних та вторинних енергетичних ресурсів у власному виробництві та суміжних галузях промисловості. Технологія використання генераторного газу реалізується на базі парагазовій установки з внутріцикловою газифікацією. Обгрунтовано енергетичну й екологічну ефективність високотемпературної газифікації вугілля у закрученому пиловугільному потоці з відділенням зольної частини у вигляді розплаву. Показано, що економічна доцільність реалізації такого процесу може бути досягнута шляхом утилізації фізичної теплоти продуктів процесу, а також побічним виробництвом гранульованого шлаку та концентрату рідких мікроелементів.

Ключові слова: низькосортне вугілля, високотемпературна газифікація вугілля, закручений пиловугільний потік, генераторний газ, гранульований шлак.

В условиях неуклонного истощения мировых запасов топливно-энергетических ресурсов проблема дефицита энергоносителей для Украины стоит особенно остро из-за отсутствия значительных запасов нефти и газа. В последние годы промышленность страны была ориентирована на энергоресурсы, которые в стране не добывались, что приводило к существенной

© Пинчук В.А., Потапов Б.Б., 2009

энергозависимости и уязвимости экономики. В Украине практически только уголь может рассматриваться как основной собственный источник энергии в ближайшем и отдаленном будущем. В настоящее время между структурой запасов и добычей угля в Украине существует значительное расхождение. Например, балансовые запасы бурых, длиннопламенных, газовых углей составляют 48 %, а удельный вес их в общей доле добычи лишь 19 %. В то же время суммарные запасы спекающихся марок углей составляют 25 %, а удельный вес их в добыче превышает 35 %. При этом ежегодная добыча малометаморфизированных бурых и длиннопламенных углей от их балансовых запасов составляет 0,09 %, а коксующихся в 4 раза больше (0,36 %). Бурые и низкокачественные угли, отличающиеся низкой теплотой сгорания, повышенной зольностью, влажностью, сернистостью и засоленностью, можно условно объединить в группу низкосортных невостребованных углей, запасы которых значительно превышают потенциал ценных марок углей и составляют около 22 млрд т. Себестоимость их добычи по сравнению с высококачественными углями значительно ниже.

Современное положение топливно-энергетического баланса Украины указывает на необходимость использования низкосортного угля. Использование такого угля связано с трудностями теплотехнического характера и экологическими проблемами, а если учесть необходимость создания и внедрения в промышленность технологий, направленных на соблюдение экологических и ресурсосберегающих норм, то вопросы рационального использования угля как энергоносителя становятся государственной проблемой.

Полное устранение или частичное снижение негативных последствий, связанных с использованием низкосортного угля, может быть достигнуто благодаря созданию безотходных, экологически безопасных и экономически эффективных комплексных технологий переработки и использования угля. Необходимо обратить внимание на уголь не в его традиционном виде, а как на сырье для комплексного получения различных видов энергии и продуктов. Учитывая многообразие органических соединений в его составе, уголь необходимо рассматривать как комплексное сырье, содержащее углерод, являющийся источником тепловой и химической энергии, зольную часть в виде соединений, которые могут быть использованы в строительстве, редкие и редкоземельные элементы, представляющие ценность, серу, высокие концентрации которой обусловливают целесообразность ее извлечения [1–3]. Такой подход обеспечивает полное энергетическое и экономически эффективное использование всех органических и минеральных составляющих перерабатываемого угля с исключением или доведением до допустимой величины вредных выбросов в окружающую среду.

Анализ существующих методов переработки применительно к низкосортным углям Украины показал наибольшую пригодность для энергетики продуктов их термической переработки в циркулирующем кипящем слое и потоке [4–8]. Значительная плодотворная работа по исследованию технологий сжигания и газификации твердого топлива проделана сотрудниками Института угольных энерготехнологий НАН Украины [4–6]. Основным направлением исследований и разработок в Национальной металлургической академии Украины является газификация в высокотемпературном закрученном пылеугольном потоке с жидким шлакоудалением [7, 8]. В случае газификации топлив с высокой зольностью газ предпочтительно получать в газогенераторах с жидким шлакоудалением. Для плавления минеральных компонентов топлива и организации хорошего жидкого шлакоудаления необходимо поддерживать температуру в реакторе газификации 1500–1800 °С. Для практического применения особое значение имеет организация автотермической газификации угля. В основу разработанных технологий положен процесс поточной высокотемпературной газификации пылевидного топлива. Принимая в качестве основных управляющих воздействий содержание кислорода в окислителе и температуру процесса, можно поддерживать такой коэффициент расхода окислителя, который установит необходимое соотношение восстановительных и окислительных компонентов в газе [9].

Высокотемпературные процессы газификации обладают преимуществом с экологической точки зрения как обеспечивающие отсутствие в газе смол и фенолов, а также связывание серы в сульфиды, а не в диоксид серы, как это имеет место при сжигании угля. Проведенная экологическая оценка процесса в температурном диапазоне 800–2000 °С показала, что при газификации в газовую фазу переходят соединения серы, 95–98 % которых составляет сероводород. Максимальное количество сероводорода образуется при высокотемпературной поточной газификации (1500–1900 °С), при этом его выход составляет до 0,49 %, а очистка газа с конверсией сероводорода в товарную серу не вызывает технологических затруднений. Проведенное сравнение по выходу SO_x и NO_x при сжигании угля и продуктов его газификации показало, что при сжигании генераторного газа выход NO в 1,07 раза, NO_2 в 1,25 раза, SO_2 и SO_3 в 5,3 раза меньше, чем при сжигании угля. Таким образом, только

при преодолении экологических проблем, которые связаны с использованием и переработкой угля, ставка на уголь как основной источник энергии является перспективной [10, 11].

Одно из перспективных направлений использования генераторного газа — применение его в парогазовых циклах с выработкой тепловой и (или) электрической энергии. Комбинированные парогазовые установки по сравнению с паротурбинными имеют большую маневренность и лучшие технико-экономические показатели при работе в переменной части графика электрических нагрузок.

На основе изложенных принципов предлагается схема комплексной переработки низкосортных углей на базе парогазовой установки с внутрицикловой газификацией (рис.1).

При включении системы газификации в цикл парогазовой установки учтены следующие особенности этой технологии: в схеме предусматривается возможность использования высокосернистых зольных топлив с технологией предотвращения вредных выбросов в окружающую среду, основанной на первоначальной газификации топлива с последующим сжиганием очищенного от пыли и серы генераторного газа в камерах сгорания газотурбинной установки; при выбранных параметрах процесса газификации достигается почти полная конверсия углерода в газ. Высокие скорости химических реакций, протекающих в газовой сфере, делают состав генераторного газа близким к равновесному, что подтверждается результатами проведенных исследований [7–9]; процесс газификации осуществляется при достаточной температуре, чтобы полученный газ не содержал каких-либо конденсируемых смол или органических соединений [10, 11], поэтому в схеме могут быть использованы высокотемпературные методы очистки, обеспечивающей более высокий КПД комплекса, чем низкотемпературные; основная доля тепла, выделяющаяся в системе получения очищенного генераторного газа, передается питательной воде паротурбинного цикла и используется для получения перегретого пара.

Безотходность и полная утилизация побочных продуктов схемы обеспечивается следующими мероприятиями: расплав золы, получаемый при газификации, охлаждается, утилизируя свою теплоту, гранулируется и используется как строительный материал, а не выбрасывается в шлаковые отвалы, тем самым загрязняя окружающую среду [12, 13]; при очистке от серы генераторного газа существенно снижается загрязнение атмосферы оксидами серы [10, 11]. Сера в генераторном газе содержится в виде сероводорода, а это позволяет использовать очистку газа с конверсией сероводорода в товарную серу; уловленная зола из генераторного газа является сырьем, богатым редкими и редко-

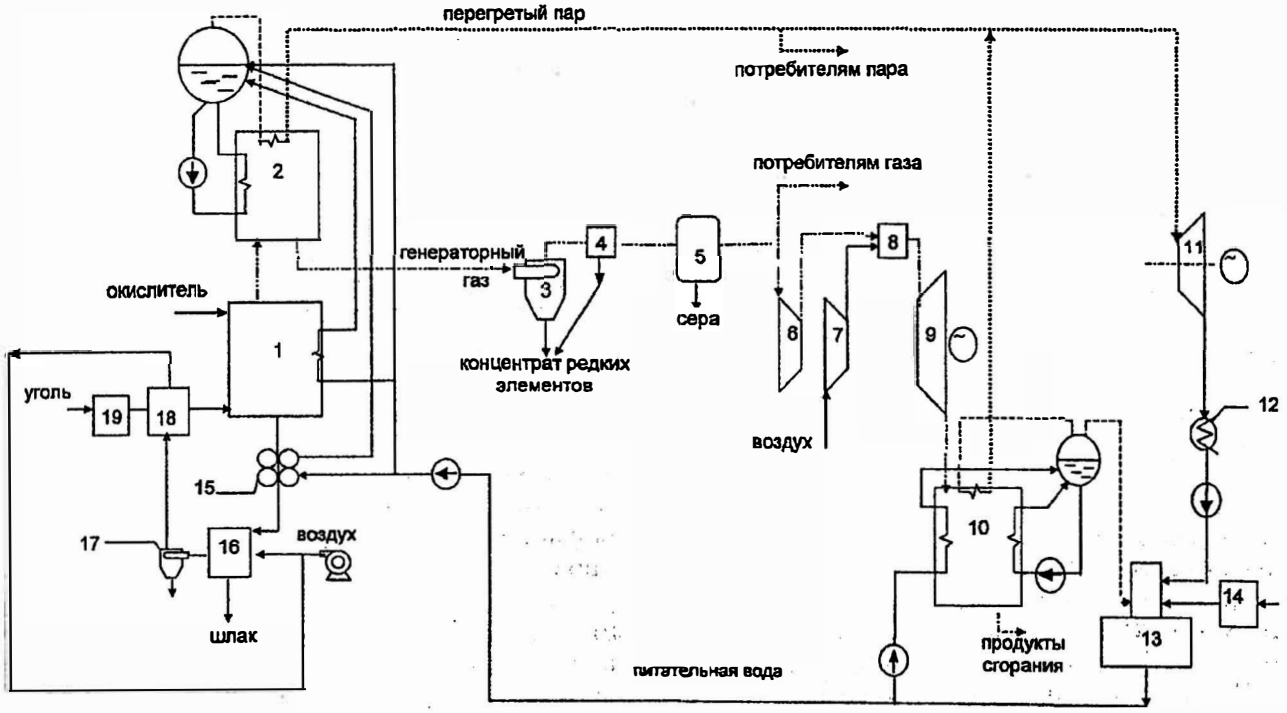

Схема комплексной переработки низкосортных углей: 1 — газогенератор; 2 — охладитель генераторного газа; 3 — циклон; 4 — металлотканевый фильтр; 5 — блок сероочистки; 6 — компрессор для сжатия газа; 7 — компрессор для сжатия воздуха; 8 — камера сгорания; 9 — газовая турбина; 10 — котел-утилизатор; 11 — паровая турбина; 12 — конденсатор; 13 — деаэратор; 14 — химводоочистка; 15 — валковые охладители шлака; 16 — охладитель гранулированного шлака; 17 — циклон; 18 — сушильная камера; 19 — углеподготовка.

земельными элементами, продажа которого повысит эффективность технологии [14].

Условно схему можно разбить на следующие функциональные модули: газификация и утилизация физического тепла продуктов газификации; очистка газа от зольного уноса; очистка газа от серных соединений и их утилизация; газотурбинный цикл; паротурбинный цикл. Каждый функциональный модуль характеризуется определенным набором технологических параметров.

Уголь поступает на углеподготовку, где измельчается до фракции 0–0,13 мм, затем сушится в сушильной камере до влагосодержания 5–7 %. Далее пылевидное топливо вместе с окислителем поступает в циклонный газификатор, где реализуется технологический процесс поточной газификации с образованием генераторного газа и расплава золы. Жидкий шлак стекает по стенке газификатора в накопитель расплава, оттуда поступает на валковые охладители расплава шлака, затвердевает, а затем измельчается на дробящих валках. Дробленый шлак охлаждается потоком в охладителе шлака. Нагретый здесь воздух очищается циклоном, расходуется на сушку угольной пыли в сушильной камере, после чего возвращается в охладитель шлака. Генераторный газ поступает в охладитель генераторного газа. При охлаждении газа в охладителе происходит значительный отвод тепла (до 85 %) и генерируется перегретый пар. После охлаждения генераторный газ вначале очищается от крупнодисперсных частичек золы в циклоне, а затем дочищается в металлотканевом фильтре. Уловленная зола является концентратом редкоземельных элементов. Далее газ поступает в блок сероочистки, где осуществляется очистка газа с конверсией сероводорода в товарную серу. Очищенный и обессеренный газ разделяется на два потока: один поступает технологическим потребителям газа, другой сжимается в компрессоре (6) и вместе со сжатым воздухом из компрессора (7) подводится в камеру сгорания. Продукты сгорания поступают в газовую турбину для выработки электроэнергии. Генератор электроэнергии связан с тем же валом, что и турбина с компрессорами. Турбина передает мощность на вал, где приблизительно половина мощности используется для привода компрессоров, остальная часть — электрогенератора. Отработанные продукты сгорания из газовой турбины используется для получения пара в котле-утилизаторе и выбрасываются в атмосферу.

Часть перегретого пара подается потребителям тепловой энергии, а остальной пар для выработки электроэнергии подается в паровую конденсационну турбину без регенеративного подогрева питательной воды. Из турбины отработанный пар конденсируется в конденсаторе и подается в деаэратор вместе с подпиточной водой из блока химической очистки воды, компенсирующей потери воды и пара в системе. Деаэрация воды осуществляется паром, поступающим из барабана котла-утилизатора.

Конечная структура технологической схемы комплексной переработки угля зависит от дальнейшего применения генераторного газа. Кроме того, технология должна быть ориентирована на местные угли рядовых поставок, обеспечить полноту использования побочных продуктов и предотвращать загрязнение окружающей среды; схема должна быть максимально замкнутой и простой, иметь минимальные капитальные и текущие затраты и повышенную надежность.

Проведенная оценка эффективности технологии комплексной переработки низкосортных углей показала, что КПД брутто представленной системы составляет 60 %. При этом наблюдаются следующие виды потерь в комплексе: в паровом цикле (20,5 % от прихода энергии), в котле-утилизаторе и с отходящими газами (12,3 %), в системе валковых охладителей и с гранулированным шлаком (3,0 %), в охладителе генераторного газа (2,1 %), в газогенераторе (1,0 %), в газотурбинном цикле (0,5 %), в системе очистки газа (0,5 %) [1, 3].

При использовании низкосортного энергетического угля в виде пылеугольного топлива на ТЭС блоки имеют КПД нетто 28–35 %. Как следует из расчетов, КПД нетто представленного комплекса составляет 38–41 %, что на 10 % выше КПД стандартного производства электроэнергии при сжигании пылеугольного топлива. Основная доля затрат энергии на собственные нужды приходится на привод компрессоров (50 %), остальное на производство кислорода в блоке разделения воздуха (27 %), на химводоочистку (16 %), на газификацию и прочее оборудование (7 %) [1, 3].

Детальное технико-экономическое исследование показало перспективность и экономическую эффективность этой технологии. Экономическая эффективность производства генераторного газа должна учитывать не только его характеристики и связанные с его получением затраты, но и значительное количество утилизированной энергии, а также ценность побочных продуктов.

В процессе высокотемпературной газификации низкосортного угля образуется значительное количество расплавленной золы, обладающей высоким температурным потенциалом. Физическое тепло шлаков на сегодняшний день почти не используется. В то же время тепловые характеристики шлаков позволяют рассматривать их как значительный по объему и концентриро-

ванный источник тепла высокого потенциала. Перспективными с точки зрения эффективного использования физического тепла расплава, защиты окружающей среды и энергетических затрат являются способы сухого охлаждения расплава в валковых охладителях с получением гранулированного шлака, который используется в качестве строительного материала, а также как добавки при производстве цемента [12, 13].

В угле содержится в значительных количествах кремний, алюминий, железо кальций и около 70 микроэлементов. Некоторые из микрокомпонентов, содержащихся в угле, представляют промышленный интерес (германий, молибден, свинец, цинк и др.), а другие (или те же самые) при переработке углей оказывают вредное влияние на окружающую среду и являются биологически активными (Mn, Mo, Se, Co, Ni, V, Hg, As и др.). Установлено, что при газификации угля зольные уносы являются концентратом редких элементов. Так, концентрация германия в зольном уносе в 43 раза превышает его содержание в исходном угле, молибдена в 35 раз, ванадия в 5 раз [14]. Разработка схемы извлечения ценных компонентов и получения конечных продуктов позволит повысить эффективность комплексной переработки угля, повысить конкурентоспособность низкосортных углей и ликвидировать неблагоприятные экологические последствия их использования и переработки.

Учитывая сравнительно высокую стоимость генераторного газа, при внедрении газогенераторных технологий и установок в производство следует поступать осмотрительно. Не вызывает сомнения эффективность использования высокотемпературного неочищенного газа, если такое допускает технология.

В перспективе экономическая эффективность использования продуктов газификации углей может оказаться выше в результате повышения цен на природный газ и нефтепродукты, вовлечения в переработку дешевых углей, ужесточения экологических требований, развития эффективных процессов газификации.

В решении проблемы вовлечения в топливно-энергетический баланс предприятий газообразного топлива из углей следует различать задачи тактики и стратегии. В тактическом плане дефицит природного газа и нефтепродуктов в настоящем требует скорейшей реализации газификационных технологий в промышленности. Однако состояние отечественных разработок таково, что для их внедрения потребуется как минимум десятилетие. Решением проблемы может быть закупка современной зарубежной промышленной технологии и оборудования и на их основе создание опытного производства генераторного газа на одном из предприятий. Результаты исследований и испытаний этого производства, оценка технико-экономических показателей и экологических воздействий послужат основанием для решения вопроса его быстрого распространения. В плане стратегии следует всесторонне поддержать отечественных разработчиков новых технологий и оборудования, которые могут в будущем составить конкуренцию на мировом рынке газификационных комплексов.

Выводы

Перспективными направлениями переработки низкокачественных углей является их газификация в циркулирующем кипящем слое и пылеугольном потоке.

Энергетическая эффективность и экономическая целесообразность использования низкосортных углей может быть достигнута на основе их представления как комплексного сырья, являющегося источником тепловой и химической энергии; зольной части, которая может быть использована в строительстве; ценных редких и редкоземельных элементов; серы, высокие концентрации которой обусловливают целесообразность ее извлечения.

При газификации пылеугольного сырья в закрученном высокотемпературном потоке наблюдается концентрация в зольном уносе ценных редких элементов. Так, концентрация германия в 43 раза, молибдена в 35 раз, ванадия в 5 раз превышает их содержание в исходном угле. При газификации углей с высокой зольностью в высокотемпературном закрученном пылегазовом потоке с жидким шлакоудалением обеспечивается полная конверсия углерода в газ с отделением зольной составляющей угля в виде расплава.

Высокотемпературная газификация угля имеет существенные экологические преимущества, которые определяются отсутствием в газообразном продукте смол и фенолов, связывания серы в сульфиды. При сжигании такого продукта выход NO в 1,07 раза, NO_2 в 1,25 раза, SO_2 и SO_3 в 5,3 раза меньше, чем при сжигании угля.

Перспективным направлением является использование продуктов газификации в парогазовых установках с выработкой тепловой и (или) электрической энергии. КПД брутто разработанной безотходной технологии переработки низкосортных углей составила 60 %.

Список литературы

1. Пинчук В.А., Потапов Б.Б., Коваленко Е.А. Технология комплексной переработки низкосортных углей и отходов углеобогащения // Інтегровані

технології та енергозбереження. — 2004. — № 2. — С. 125–129.
2. Пинчук В.А., Потапов Б.Б. Проблемы и перспективы использования в металлургии у лей и продуктов их переработки // Proc. IX Miedzynarodowa Sesja Naukowa «Nowe Technologie i Osiagniecia w Metalurgii i Inzynierii Materialowej». — Czestochowa (Polska), 2008. — P. 146–149.
3. Пинчук В.А., Потапов Б.Б. Безотходная технология переработки низкосортных углей в газ для энергетики и металлургии // Металлург. теплотехника : Сб. науч. тр. — Днепропетровск : Нац. металлург. акад. Украины, 2004. — С. 59–66.
4. Корчевой Ю.П., Майстренко А.Ю., Топал А.И., Вольчин И.А. Сжигание твердого топлива в кипящем слое под давлением. — Киев, 1997. — 85 с. — (Препр. / Минэнерго Украины. Науч.-техн. Центр угол. энерготехнологий НАН Украины Минэнерго Украины.)
5. Корчевой Ю.П., Майстренко А.Ю. Разработка чистых энергосберегающих технологий сжигания и газификации твердых топлив для энергетики // Проблемы энергосбережения. — 1995. — № 4–6. — С. 88–91.
6. Корчевой Ю.П., Майстренко А.Ю., Топал А.И. Эколоически чистые угольные энерготехнологии. — Киев : Наук. думка, 2004. — 186 с.
7. Потапов Б.Б., Пинчук В.А. Исследование и разработка режимов поточной газификации углей украинских месторождений // Металлург. теплотехника : Сб. науч. тр. — Днепропетровск : Нац. металлург. акад. Украины, 2000. — С. 219.
8. Пинчук В.А., Потапов Б.Б. Влияние подогрева окислителя на получение генераторного газа из у - ля // Там же. — 2005. — Т. 1. — С. 346–352.
9. Потапов Б.Б., Пинчук В.А. Исследование влияния параметров окислителя на процесс газификации низкосортных углей ГХК «Павлоградуголь» // Там же. — 2002. — Т. 8. — С. 114–119.
10. Потапов Б.Б., Пинчук В.А. Термодинамические исследования эколо ических характеристик процесса газификации углей Западного Донбасса // Экотехнологии и ресурсосбережение — 2002. — № 3. — С. 121–124.
11. Потапов Б.Б., Пинчук В.А. Исследование образования серо- и азотосодержащих веществ в процессе газификации низкосортных углей // Proc. III Miedzynarodowa Sesja Naukowa «Nowe Technologie i Osiagniecia w Metalurgii i Inzynierii Materialowej». — Czestochowa (Polska), 2002. — P. 146–149.
12. Потапов Б.Б., Пинчук В.А. Математическое моделирование затвердевания расплава в валковых охладителях // Системні технології : Регіон. міжвуз. зб. наук. пр. — Дніпропетровськ, 2008. — Вип. 3. — Т. 2, № 2. — С. 87–92.
13. Потапов Б.Б., Пинчук В.А. Исследование режимных и конструктивных параметров валковых охладителя золового расплава // Металлург. теплотехника : Сб. науч. тр. — Днепропетровск : Нац. металлург. акад. Украины, 2005. — Т. 2. — С. 225–233.
14. Потапов Б.Б., Пинчук В.А. Извлечение микроэлементов при высокотемпературной газификации углей // Там же. — 2003. — 219 с.

Поступила в редакцию 12.02.09

The Prospects of Ecologically Safe Energy Technologies for Low-Grade Ukrainian Coals Processing Installation

Pinchuk V.A., Potapov B.B.

The National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnepropetrovsk

The energy technological complex for side and secondary power resources in own production and allied brunches of industry complete utilization for the purpose of low-grade coals utilization complex technology realization is proposed. The technology of generator gas application on tha basis of steam and gas unit wit intracyclic gasification is realized. The power and ecological efficiency of high-temperature coal gasification in twirled dust-coal flow with slag as melt separation is substantiated. It is displayed that tha-process economical feasibility can be achieved by physical heat of process products recycling and manual production granulated slag and rare microelements concentrate manual production.

Key words: low-grade coals, high-temperature coal gasification, twirled dust and coal flow, power-producing gas, granular slag.

Received February 12, 2009