

УДК 662.87:533.92:532.5

Холявченко Л.Т., канд. техн. наук, ст. науч. сотр.,
Пигида Е.Ю., канд. техн. наук, ст. науч. сотр.,
Давыдов С.Л., магистр,
Демченко С.В., магистр
(ИГТМ НАН Украины)

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ
УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ СРЕД**

Холявченко Л.Т., канд. техн. наук, ст. науч. співр.,
Пігида Є.Ю., канд. техн. наук, ст. науч. співр.,
Давидов С.Л., магістр,
Демченко С.В., магістр
(ІГТМ НАН України)

**ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЙ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИХ
ПЕРЕТВОРЕНЬ СЕРЕДОВИЩ,ЩО МІСТЯТЬ В СОБІ ВУГЛЕЦЬ**

Kholiavchenko L.T., Ph.D. (Tech.), Senior Researcher,
Pigida E.Yu., Ph.D. (Tech.), Senior Researcher,
Davydov S.L., M.S. (Tech.),
Demchenko S.V., M.S. (Tech.)
(IGTM NAS of Ukraine)

**PERFORMANCE VALUATION OF TECHNOLOGY OF CARBON-
CONTAINING MEDIA HIGH-TEMPERATURE TRANSFORMATIONS**

Аннотация. Исследованы существующие технологии термических превращений углеродсодержащих сред, в том числе углей различной степени метаморфизма, в синтез-газ. Проведены их анализ и сравнительная характеристика по ряду показателей.

Установлено, что паровая окислительная среда в аллотермических технологиях высокотемпературных превращений ($T_T \geq 2000$ К) наиболее полно отвечает требованиям качества конечного продукта, экологической безопасности его производства, рациональному использованию исходного сырья. За счет высокоэнтальпийного водорода из окислительной среды выход полезного продукта термопревращений увеличивается на 40 – 45 % , калорийность газа составляет 11,5 – 12 МДж/м³, степень переработки углерода 98 - 99 %, газовая фаза на 97 – 99 % представлена синтез-газом.

Показано, что пароплазменная технология может быть успешно применена в промышленной тепло- электроэнергетике как альтернатива нефти и природному газу, химической промышленности, металлургии при создании защитных атмосфер и производстве восстановительных сред в технологиях прямого восстановления железа.

Ключевые слова автотермическая, аллотермическая технология, газификация, термические превращения, углеродсодержащая среда, параметры.

Введение. Украина является энергозависимой, импортирующей до 70 млрд. м³ природного газа.

Диверсификация поставок энергоносителей с других источников затруднена. В этих условиях разработка альтернативных источников энергии для Украины носит актуальный характер, переходя порой в проблему, угрожающую ее независимости.

Вторая проблема в Украине – это низкая энергоэффективность ее предприятий, особенно ориентированных на экспорт (металлургическая и химическая промышленности). По оценкам Международной экономической ассоциации (МЭА) экономика Украины считается одной из наиболее затратных в Европе и СНГ. Так, энергоемкость украинского ВВП выше по сравнению с богатой на энергоносители Россией и в два - три раза превышает средний показатель энергоэффективности по странам ЕС [1,2]. Предприятия металлургического комплекса, химпрома, построенные по технологиям начала прошлого столетия, не модернизируются и не могут конкурировать с современными технологиями. С позиции энергоэффективности вся экономика Украины необоснованно ориентирована на высокий удельный вес потребления природного газа при острой недостатке собственной его добычи. Отсюда актуальность и острота проблемы энергобезопасности страны. Решение этой проблемы - в энергоэффективности, рациональном использовании ресурсов, энергосбережении. Необходимо интенсифицировать, усилить поиск альтернативных видов энергии, возобновляемых источников энергии.

Целью данной работы является обобщение результатов исследований технологий термических превращений углеродсодержащих сред и научное обоснование пароплазменной технологии.

Изложение основного материала. В докладе экспертов британской исследовательской компании Peak Oil Group за 2010 г. отмечается, что максимальный объем добычи нефти в мире (4580 млн. т) придется на 2015 год [2]. Далее намечается спад ее добычи из-за истощения существующих месторождений. Дешевая нефть, себестоимость которой составляет 185 долл/т (25 долл/барр) закончилась в 2005 г. Обнаружить новые месторождения «легких» энергоносителей с такими низкими производственными затратами шансов нет, а при достигнутых темпах потребления по оценкам МЭА рост их добычи прекратится уже к 2030 году.

Запасы нефти и газа очень ограничены, их общий баланс на рынке энергоносителей составляет в настоящее время 10 – 20 %, а мировые цены на нефть достигли своего исторического максимума - 147,5 долл/барр в 2008 г. И несмотря на то, что эти цены на нефть и газ резко колеблются в зависимости от конъюнктуры рынка, новейших технологий, событий политического характера, тенденция снижения объемов их потребления неизбежно соблюдается во всем мире. Происходит переориентация мировой энергетики с нефти и газа на твердое топливо и возобновляемые источники энергии. В мире 25 % энергии производится из угля, мировые его запасы оцениваются в 1 триллион тонн. Размещены они более-менее равномерно по всем регионам земного шара и при нынешних темпах потребления угля достаточно не на одну сотню лет. Для сравнения природного газа едва ли хватит на 50 – 60, а нефти на 40 лет. При этом, в отли-

чие от цен на нефть и газ, цены на уголь отличаются высокой стабильностью [3]. Особенно остро в настоящее время проблема перехода к альтернативным сырьевым источникам стоит в Украине, где запасы нефти и газа практически исчерпаны или же ограничены сложностью их залегания на больших (свыше 5 - 6 тыс. м) глубинах. Однако Украина владеет значительными запасами твердых горючих ископаемых – каменный и бурый угли различной степени метаморфизма, сланцы, торф, озерный сапропель. Общие ресурсы угля в Украине на сегодняшний день составляют более 100 млрд. тонн, а разведанных и подтвержденных (по данным «British Petroleum Statistikal») - более 33,8 млрд. тонн. Разведанные запасы торфа составляют 0,93- 1 млрд. тонн, сланца 33,0 млрд. тонн [4]. Украина обладает неисчерпаемыми запасами возобновляемых источников энергии – древесина, отходы сельскохозяйственного производства, твердые бытовые отходы (ТБО).

Кроме того, в процессе добычи, обогащения и переработки угля образуется огромное количество отходов, к которым относятся метановоздушные смеси, порода в смеси с углем, отходы углеобогащения. Все это преимущественно складывается, выбрасывается в атмосферу, отвалы, отстойники, водоемы, загрязняя окружающую среду. В угольной отрасли находится 35 илонакопителей вместимостью 129 млн. м³, которые занимают площадь более 1800 га и содержат 116 млн. т шламов зольностью 45 – 70 %. Эти отходы практически не востребованы, занимают большие площади плодородных земель, создают почвенную эрозию, загрязняют окружающую среду. На 65 % снизилось потребление бурого угля. Уголь, как и ТБО, из-за высокого уровня загрязнения окружающей среды и высокой эмиссии CO_2 при прямом сжигании является «грязным» энергетическим сырьем. В теплоэнергетику при этом вовлекается всего 20 – 30 % собственно угля, остальное выбрасывается в окружающую среду в виде пыли, отходящих газов, золы и др., нанося ей непоправимый вред. Причем, в условиях все увеличивающегося объема прямого сжигания экологические проблемы увеличиваются, переходя на первый план.

С увеличением объемов добычи угля и его потребления проблемы нарастают от непрерывного понижения добычных горизонтов, увеличения напряженного состояния массива под действием налегающих пород, газонасыщенности добычных горизонтов, проявления такого опасного явления как выбросы угля и газа. Непрерывно снижается качество добываемого угля, увеличивается диспропорция в балансе разведанных и добываемых богатых, коксующихся и бедных, бурых углей. Угрожающими темпами накапливаются шламы, зола и угли, малопригодные в энергетике, металлургии и химии. Эти проблемы есть следствием технологии прямого сжигания твердого топлива. Построенная на принципе одноцелевого использования угля по формуле $C+O_2 = CO_2 + Q$ (кДж/кг) она изначально обречена на многие недостатки, которые заключаются в: обогащении углей; использовании дорогостоящих систем топливоподготовки и подачи; устройстве громоздких и небезопасных мест захоронения миллионов тонн твердых и жидких отходов; обустройстве систем золо- и шлакоудаления; строительстве и эксплуатации дорогостоящих систем газоочистки от пыли, ок-

сидов серы и азота. Совершенствуются системы подготовки, подачи, смешивания, обогащения, улучшаются процессы сжигания в кипящем, циркулирующем слоях. Применяются дополнительные меры по воспламенению и поддержанию процесса горения низкокалорийных углей, организацией «подсветки». Проблемы прямого сжигания угля усугубляются неизбежным «недожогом» углерода, который в золе составляет 10 – 20 %, что делает зольные остатки непригодными для прямого использования. Тысячи их тонн, накапливаясь в зольных отвалах, отравляют окружающую среду из-за сохраняющихся реакционных качеств золы. Очевидно, что вся добываемая масса угля должна перерабатываться комплексно восстановлением и реализацией всех ее составляющих. Это возможно путем предварительной термической переработки углеродсодержащих сред любого состава и качества методом газификации с полной (100 %) конверсией углерода и восстановления минеральной составляющей на специализированных предприятиях по месту добычи твердого топлива или возле крупных энергогенерирующих химических или металлургических комплексов. Для этого на смену технологии прямого сжигания должны прийти новые технологии превращений углеродсодержащих сред. В этом случае предварительная подготовка твердого топлива переводом его в газообразное состояние, в том числе всех видов органического сырья независимо от его морфологии и последующему сжиганию может стать основой таких технологий.

Процессы перевода твердого топлива в газ можно в некоторой степени классифицировать по следующим признакам: теплоте сгорания, МДж/м³ (низкой – 4,18 - 6,70, средней – 6,70 - 18,80, высокой – 31 - 40); назначению газов (для энергетических и технологических целей); размеру частиц топлива (крупнозернистое, мелкозернистое, пылевидное); типу дутья (воздушное, кислородное, парокислородное, паровое и их смеси); способу удаления минеральных примесей (мокрое и сухое золоудаление, жидкое шлакоудаление); давлению (атмосферное – до 0,13 МПа, среднее – до 13 МПа; высокое – свыше 3 МПа); характеру движения топлива (в псевдостационарном опускающемся слое, псевдо-сжиженном (кипящем) слое, в движущемся потоке пылевидных частиц); температуре газификации (низкая - (до 800°C), средняя – 800 - 1300°C и высокотемпературная (выше 1300°C); балансу тепла в процессе газификации (автотермический, аллотермический). К настоящему времени накоплен достаточно большой опыт газификации твердого топлива на основе автотермического метода, базирующегося на сжигании части газифицируемого топлива для разгона и поддержания эндотермических реакций процесса окисления углерода и других органических элементов. Наиболее распространенными в мировой промышленной практике являются давно разработанные, хорошо апробированные автотермические технологии: газификация в кипящем слое при атмосферном давлении (метод Винклера) [5] и дальнейшее ее развитие в U-Gas, KRW, Westinghouse Corporation [6], газификация в плотном стационарном слое (метод Лурги) как базовая и ее развитие British Gas / Lurgi [6], высокотемпературная газификация в потоке (метод Техасо) и дальше технологии Shell, Prenflo, Destee и др. [7]; газификация пылевидного топлива в расплаве (метод Koppers-

Totzeka) [6].

Общим положительным показателем для автотермических технологий является: все базовые и последующие варианты их развития прошли путь широкой апробации, масштабного внедрения, приспособлены к переработке относительно дешевых, мелких и высокозольных углей любых марок. Все они могут быть использованы при переработке ТБО. По сравнению с прямым сжиганием автотермическим методам присущи невысокие (средние) показатели вредных выбросов в окружающую среду, практически отсутствуют или малые объемы выбросов побочных продуктов (смолы, ароматические углеводороды, пыль), малореакционный зольный остаток, степень конверсии углерода 90 – 95 %. Основные составляющие газовой фазы – H_2 – 35 - 37 %, CO – от 50 % в технологиях Техсасо, Копперс-Тотцека до 20 – 23 % в Лурги, CO_2 – 13 – 30 %. Теплотворная способность газа 6 – 10 МДж/м³.

Наряду с положительными качествами, автотермическим методам присущ целый ряд существенных недостатков, которые сдерживают их широкое и быстрое распространение. Основные из них: сжигание части дефицитного угля для поддержания процесса; большое содержание CO_2 в конечном продукте; высокие капитальные затраты и металлоемкость конструкции; значительный унос угольных частичек с генераторным газом; большое количество загрязненных вод и большие затраты на их очистку. В первую очередь это наличие в конечном продукте соединений, загрязняющих окружающую среду CO_2 , N_2 , NO_2 и др. Так CO_2 в целевом продукте автотермических газификаторов достигает 10 – 30 %, азот до 60 % при газифицирующем агенте воздухе. При переработке ТБО могут присутствовать очень токсичные соединения серы, азота, ароматических углеводородов. Последующая очистка газов от включений разного характера – дорогостоящий процесс. Из-за низких температур (< 1800 К), характерных для автотермических методов газификации, невозможны процессы комплексной переработки сырья. Чтобы создать повышенный высокий температурный режим процесса превращений (1800 – 1900 К), необходим кислород высокой (до 95%) степени очистки. Его производство - сложное, громоздкое и дорогостоящее технологическое мероприятие, а применение других более доступных и недорогих окислительных сред ведет к снижению температуры процесса, скорости химических реакций, образованию балластных и вредных соединений в составе газа. Из-за низких температур происходит полная деструкция веществ, сопровождающих гетерогенные системы – смолы, парафины, сернистые, азотные соединения, фураны и диоксины, что многократно усугубляет процесс термических преобразований вредными выбросами в окружающую среду. В этой связи совершенствуются системы управления процессом, утилизации тепла, решаются технические проблемы превращений углеродсодержащих сред, создаются более мощные производительные агрегаты. Однако недостатки базовых автотермических технологий, исходящие из основы – прямого сжигания части топлива в процессе превращений, неизбежно сопровождают усовершенствованные системы.

Для предварительного анализа различных технологий превращений угле-

родсодержащих сред авторами сформирован ряд показателей, которые могут конкретно характеризовать каждую из них (таблица 1). Сравнивая эти показатели, представляется возможным с некоторым приближением установить техническую, экономическую, социальную целесообразность и сформулировать условия применения той или иной технологии.

Таблица 1 - Показатели технологий превращения твердых углеродсодержащих сред

Показатели	Прямое сжигание	Технологии газификации [6, 8]							
		Автотермическая				Аллотермическая плазменная			
		Лурги	Винклер	Копперса-Тотцека	Тексако	Воздушная		Паровая	
Крупность угля, мм	пыль > 0,150	6 - 40	< 8	> 0,1	> 0,1	> 0,15	> 0,15	> 0,15	
Газифиц. агент	воздух	O ₂ + пар	O ₂ + пар	O ₂ + пар	O ₂ + пар	воздух	воздух	пар	
Тем-ра процесса, К	800 – 1000	1000 - 1500	1000 - 1500	1600-1800	1600-1800	2000 - 3000	2000 - 5000	2000 - 5000	
Давление, МПа	0,1 – 0,2	2-3	0,1 – 0,2	0,1 – 0,2	2-3	0,1 – 0,2	0,1 – 0,2	0,1 – 0,2	
Газификация видов углей ТБО сортировка	Не все Не все Да	Все Не все Да	Все Не все Да	Все Не все Да	Все Не все Да	Все Все Да	Все Все Да	Все Все Да	
Полнота деструкции	Неполная	Неполн.	Неполн.	Неполн.	Неполн.	Полная	Полная	Полная	
Зольный остаток	Высокорезакционный	Малорезакционный	Малорезакционный	Малорезакционный	Малорезакционный	Нейтральный	Нейтральный	Нейтральный	
Выбросы в атмосферу	Высокие	Средние	Средние	Средние	Средние	Низкие	Низкие	Очень низкие	
V _г , м ³ /кг угля	-	1,8-2,1	1,8-2,0	2,0-2,5	2-2,8	3-4	3-4	2,6-3,2	
Состав газа:	Выбросы, от сжиг., мг/м ³	при газификации, %							
H ₂	пыль	16	37 - 39	35 - 45	35	35-37	30-31	30-36	54-60
CO	H Cl	35	20 - 23	30 - 38	42 - 50	40-50	34,1		35-40
CH ₄	N O _x	362	10 - 12	1 - 2	0	0	0	0	0
CO ₂	C O ₂	40-48	27 - 30	13 - 25	13 - 20	13-20	28	2-3	0,2-0,5
N ₂	S O ₂	65	-	-	-	-	20-30	15-20	0
H ₂ +CO	Pb	0,19	57 - 62	65 - 86	70 - 80	80 - 85	65,1	35-40	95-99
Побоч. проты в газе	Тяж. мет., диоксины	Смола, мазут и др.	Пыль, углеводор.	-	Пыль, углеводор.	азот	азот	-	
Степень конверс. углер., %	80 - 85	90 - 95	90	90 - 95	90 - 95	95 - 99	95 - 99	95 - 99	
Q _г , МДж/м ³	-	6 - 10	6 - 9,5	6 - 9	6 - 10	4,4 - 4,6	11,5 - 12	11,5 - 12	
КПД технол., %	-	75 - 80	75 - 80	70 - 80	до 75	70 - 80	70 - 80	90 - 95	

Качество и количество целевого продукта зависит от температуры процесса. Результаты исследований зависимостей составляющих газовой фазы от температуры (рисунок 1) показывают, что температура оказывает решающее воздействие на общий выход и на выход энергосоставляющих элементов газовой фазы. Так, в районе изменений $T_T \geq 2000$ К наблюдается рост выхода ингредиентов синтез-газа и общий выход газовой фазы. При температуре от 1800 до 2000 К синтез-газ составляет 97 – 98 %, H_2 в нем до 50 %, CO – 48 - 49 %.

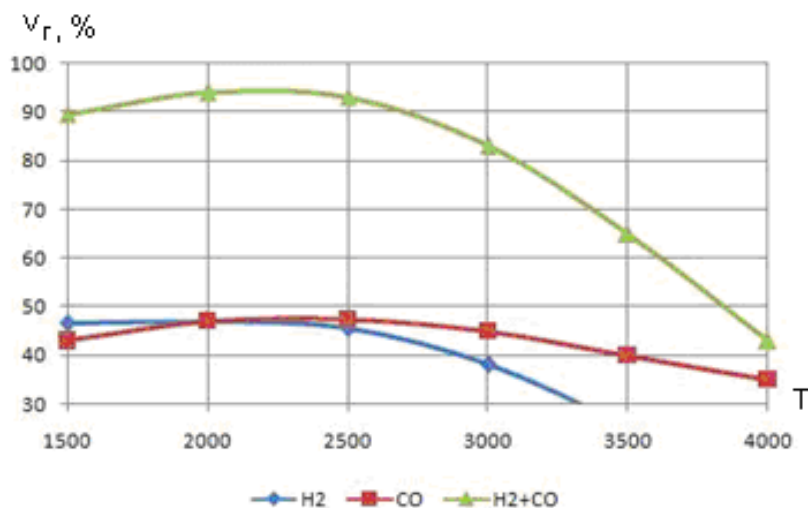


Рисунок 1 - Выход в объемных долях синтез-газа ($H_2 + CO$) и его составляющих H_2 и CO от T_T при коэффициенте расхода окислителя, равном 0,45

Выполненными нами исследованиями [9] установлено, что пароплазменные технологии превращений углеродсодержащих сред обладают целым рядом преимуществ: высокий (до 90 – 95 %) энергетический КПД, что обеспечивает экономию исходного сырья; снижение выноса пылевых частиц с выходным продуктом: серы, диоксинов и фуранов в условиях температуры свыше 1450 °С. Вновь образующиеся соединения приобретают легко улавливаемые формы (H_2S , COS); CO_2 практически отсутствует. Технология отличается высокой селективностью выхода полезного продукта, а его состав мало зависит от качества исходного сырья (таблица 1).

Пар, как окислительная среда, не вносит в состав газовой среды конечного продукта каких-либо балластных и тем более вредных компонентов. Паровая плазма, представляющая собой совокупность атомов, электронов, ионов, радикалов кислорода и водорода при температуре 2000 – 8000 К, является активным реагентом в окислительно-восстановительных процессах. В отличие от воздушной плазмы в водяной отсутствует балласт в виде азота, доля которого в воздухе составляет 75 – 76 %. Энтальпия паровой плазмы почти на порядок выше, чем у других газов (аргона, азота, воздуха, кислорода, их смесей). Высокие тепловые свойства паровой плазмы позволяют производить термические превращения любой органической среды вплоть до восстановительных процессов минеральной части, что полностью отвечает требованиям комплексной переработки. Пароплазма отличается доступностью плазмообразующего агента –

воды, отсутствием каких-либо требованиям к ее очистке.

В процессах термических преобразований различных углеродсодержащих сред пароплазменным потоком выходной продукт по составу представлен практически только синтез газом ($CO + H_2$) и конденсированным остатком минеральной составляющей (зола). Теплотворная способность газовой фазы в 3 раза выше, чем воздушной плазмы и достигает $11,5 - 12$ МДж/м³, водородно-монооксидное число H_2/CO больше 1, а при определенных условиях может достигать 2, что оптимально для процессов Фишера-Тропша. Твердый зольный остаток выделяется в виде стеклованной нейтральной массы, вес которой по отношению к исходному газифицируемому материалу может достигать 1:400, а сам материал используется в стройиндустрии. Полученный газ может быть использован немедленно в процессах энергопроизводства, химического синтеза, восстановительных металлургических процессах, а может быть складирован впрок или транспортирован на расстояние к потребителю.

Бесспорные преимущества пароплазменной газификации углеродсодержащих сред также в комплексной их переработке. В этом случае минеральная часть среды в виде оксидов восстанавливается, образуя ценные компоненты конденсированных элементов кремния, ферросилиция, алюминия, железа и др. Согласно оценке [10] рыночная стоимость продуктов пароплазменной комплексной переработки угля в десять раз превышает стоимость самого угля и оборудования для его переработки.

Выводы. Установлено, что пароплазменная технология высокотемпературных превращений наиболее полно отвечает требованиям качества конечного продукта, экологической безопасности его производства, рациональному использованию исходного сырья. За счет высокоэнтальпийного водорода из окислительной среды выход полезного продукта термопревращений увеличивается на 40 – 45 % , калорийность газа составляет $11,5 - 12$ МДж/м³, степень переработки углерода 98 - 99 %, газовая фаза на 97 – 99 % представлена синтез-газом.

Пароплазменная технология превращений углеродсодержащих сред универсальна: применима для газификации углей любого качества, торфа, сланцев, отходов угледобычи, углеобогащения, в том числе ТБО, шахтных метано-воздушных смесей при высоких скоростях термических превращений. Устройства для реализации плазменных технологий отличаются компактностью и малой металлоемкостью основного оборудования, небольшими капиталовложениями. Это основные показатели, определяющие преимущество данной технологии над существующими.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стракович, М.А. Дальние перспективы развития мировой энергетики / М.А. Стракович, Ю.В. Сияк, С.Я. Чернавский // Топливо. - 1981. – Вып.14. - №3. – С. 12-25.
2. The Oil Crunch 2010: A Wake-Up Call For The Uk Economy - Second Report Of The Uk Industry Taskforce On Peak Oil & Energy Security (Itpoes) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.foresightfordevelopment.org/sobipro/55/900-2010-the-oil-crunch-a-wake-up-call-for-the-uk-economy-second-report-of-the-uk-industry-taskforce-on-peak-oil-and-energy-security-itpoes>. - Загл. с экрана.

3. Розпорядження кабінету Міністрів України від 15.03.2006р №145-р про схвалення Енергетичної стратегії України до 2030 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/145-2006-p>. – Загл. с екрана.
4. Тополев, В.С. Проблема топливно-энергетических ресурсов в мире и Украине / В.С. Тополев, А.Е. Хлапенов [и др.] // Уголь Украины. - №5. – 2004. – С. 3 – 11.
5. Жуков, М.Ф. Плазмохимическая переработка угля / М.Ф. Жуков, Р.А. Калинин, А.А. Левицкий. – М.: Наука, 1990. – 200 с.
6. Тютюнников, Ю.Б. Технологические схемы, расчет и моделирование промышленных процессов газификации угля / Ю.Б. Тютюнников, М.С. Шептовичский, И.В. Шульга. - Харьков: УГЭУ, 1986. – 66 с.
7. Дроздик, И.Д. Новое направление использования углей / И.Д. Дроздик, Ю.С. Кафтан, Ю.Б. Колганская // Кокс и химия. – 1994. – №4. – С. 4-16.
8. Химическая технология горючих ископаемых / Под. ред. Г.Н. Макарова, Г.Ф. Харламповича // Учебник для ВУЗов. – М.: Химия, 1986. – 496 с.
9. Давыдов, С.Л. Расчетные показатели переработки углей и отходов их обогащения методом пароплазменной газификации / С.Л. Давыдов // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. трудов. – Днепропетровск, 2013. – № 108. – С. 179-185.
10. Экономическая эффективность плазмохимической переработки угля [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://tbc-inv.ru/tech/2009>. – Загл. с экрана.

REFERENCES

1. Strakovich, M.A., Sinyak, Ju.V. and Chernyavskiy, S.Ya. (1981), “Long-term prospects for the development of world energy“, *Toplivo*, no. 3, pp. 12-25.
2. Foresight for Development, 2010 The Oil Crunch: A Wake-Up Call For The Uk Economy - Second Report Of The Uk Industry Taskforce On Peak Oil & Energy Security (Itpoes), available at: <http://www.foresightfordevelopment.org/sobipro/55/900-2010-the-oil-crunch-a-wake-up-call-for-the-uk-economy-second-report-of-the-uk-industry-taskforce-on-peak-oil-and-energy-security-itpoes> (Accessed 12 May 2017).
3. Cabinet Of Ministers Of Ukraine, Order Cabinet Of Ministers Of Ukraine by 15.03.2006 p №145-p approval of the Energy Strategy of Ukraine till 2030, available at: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/145-2006-p> (Accessed 12 May 2017).
4. Topolev, V.S., Hlapenov, A.E. et.al. (2004), “The problem of fuel and energy resources in the world and Ukraine”, *Ugol Ukrainy*, no. 5, pp. 3 – 11.
5. Zhukov, M.F., Kalinenko, R.A., and Levickiy, A.A. (1990), *Plazmokhimicheskaya pererabotka uglya* [Plasma-chemical processing of coal], Nauka, Moscow, USSR.
6. Tyutyunnikov, Yu.B., Sheptovickiy, M.S. and Shulga, I.V. (1986), *Tekhnologicheskie skhemy, raschet i modelirovanie promyshlennykh protsessov gazifikatsii uglya*, [Technological scheme, calculation Modeling of industrial processes and coal gasification], UGJeU, Harkov, Ukraine.
7. Dроздик, I.D., Kaftan, Yu.S. and Kolganskaya, Yu.B. (1994), “New direction of use of coals”, *Koks i khimiya*, no. 4, pp. 4 - 16.
8. Makarov, G.N. and Harlampovich, G.F. (1986), *Himicheskaya tekhnologiya goryuchikh iskopaemykh* [Chemical technology of combustible minerals], Khimiya, Moscow, USSR.
9. Davydov, S.L. (2013), “Calculated parameters of processing of coals and wastes of their enrichment by the method of steam-plasma gasification”, *Geo-Technical Mechanics*, no. 108, pp. 179-185.
10. Die Wirtschaftlichkeit von plasmaunterstützte chemische Verarbeitung von Kohle (2009), available at: <http://tbc-inv.ru/tech/2009> (Accessed 22 September 2016).

Об авторах

Холявченко Леонид Тимофеевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник в отделе проблем разрушения горных пород, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепр, Украина, dsl77@ua.fm.

Пигида Евгений Юрьевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник в отделе проблем разрушения горных пород, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепр, Украина, dsl77@ua.fm.

Давыдов Сергей Леонидович, магистр, младший научный сотрудник в отделе проблем разрушения горных пород, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепр, Украина, dsl77@ua.fm.

наук України (ИГТМ НАНУ), Днепр, Україна, dsl77@ua.fm.

Демченко Сергей Вячеславович, магістр, молодший науковий співробітник в відділі проблем руйнування горних порід, Інститут геотехнічної механіки ім. Н.С. Полякова Національної академії наук України (ИГТМ НАНУ), Днепр, Україна, demchik@bk.ru.

About the authors

Kholiavchenko Leonid Timofeevich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Senior Researcher in Department of Rock Breaking Problems, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepr, Ukraine.

Pigida Evgeniy Yuryevich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Senior Researcher in Department of Rock Breaking Problems, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepr, Ukraine.

Davydov Sergey Leonidovich, Master of Science (M.S.), Junior Researcher in Department of Rock Breaking Problems, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepr, Ukraine, dsl77@ua.fm.

Demchenko Sergey Vyacheslavovich, Master of Science (M.S.), Junior Researcher in Department of Rock Breaking Problems, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepr, Ukraine, demchik@bk.ru.

Анотація. Досліджено існуючі технології термічних перетворень середовищ, що містять в собі вуглець, в тому числі вугілля різного ступеня метаморфізму, в синтез-газ. Сформовано ряд показників, що характеризують кожен з них. Проведено аналіз різних технологій перетворень середовищ, що містять в собі вуглець, по сформованому ряду показників і їх порівняльна характеристика. Встановлені технічна, економічна, соціальна доцільність і сформульовані умови застосування тієї чи іншої технології термічних перетворень середовищ, що містять в собі вуглець, стосовно до реалій України.

Показано, що аллотермічні технології третього покоління перетворень які тримають середовища, що містять в собі вуглець, можуть бути успішно застосовані в промисловій тепло-електроенергетиці, як альтернатива нафти і природного газу, в хімічній промисловості, в металургії при створенні захисних атмосфер і виробництві відновлювальних середовищ в технологіях прямого відновлення заліза.

Ключові слова: автотермічна технологія, аллотермічна технологія, газифікація, термічні перетворення, середовища, що містять в собі вуглець.

Abstract. Existing technologies of thermal transformations of carbon-containing media, including coals of various degrees of metamorphism, into gas synthesis were studied and analyzed by a number of indicators.

Technical, economic, social expediency has been established, and the conditions for the application of this or that technology of thermal transformations of carbon-containing media have been formulated with reference to the realities of Ukraine.

It is shown that allothermal technologies of the third generation of transformations of carbon-containing media can be successfully applied in industrial heat and electric power industry as an alternative to the oil and natural gas, chemical industry, in metallurgy when creating protective atmospheres and producing reducing media in direct iron reduction technologies.

Keywords: autothermal technology, allothermal technology, thermal transformations, gasification, carbon-containing medium.

Стаття поступила в редакцію 20.03.2017

Рекомендовано к публикации д-ром технических наук Васильевым Л.М.