

С.Л. Давыдов, магистр, вед. инженер
(ИГТМ НАН Украины)

РАСЧЁТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЕЙ И ОТХОДОВ ИХ ОБОГАЩЕНИЯ МЕТОДОМ ПАРОПЛАЗМЕННОЙ ГАЗИФИКАЦИИ

Аннотация. В работе приведены расчёты параметров термодинамики процесса пароплазменной переработки углей основных регионов Украины и отходов углеобогащения. Расчёт термодинамики проведён с помощью программы термодинамического моделирования ASTRA-4. Показано, что практическая реализация этих процессов может обеспечить комплексную переработку сырья при наибольшем выходе качественного продукта в газовой фазе и полезных компонентов минеральной составляющей. Полученный синтез-газ можно использовать как высококалорийное топливо, сырьё для химической промышленности при производстве жидкого топлива, контроль атмосферы для металлургической промышленности. Твёрдую фазу можно использовать в строительстве для производства строительных материалов.

Ключевые слова: термодинамика, пароплазменная переработка угля, отходы углеобогащения, синтез-газ

Davydov S.L., Master of Science (Tech.), Engineer
(IGTM NASU)

ESTIMATES OF PROCESSING OF COAL AND WASTE THEIR ENRICHMENT METHOD STEAM-PLASMA GASIFICATION

Abstract. This paper presents calculations of the thermodynamics process parameters of steam-plasma processing of coal of major regions of Ukraine and coal waste. Thermodynamics calculation performed using the thermodynamic simulation program ASTRA-4. It is shown that the implementation of these processes can provide comprehensive processing of raw materials at the highest output of quality product in the gas phase and useful components of the mineral part. The resulting synthesis gas can be used as high-energy fuel, raw material for chemical industry for production of fuel oil, controlled atmosphere for the steel industry. The solid phase can be used in construction materials production.

Keywords: thermodynamics, vapor plasma processing of coal, waste coal, the synthesis gas

Непрерывное удорожание на мировом рынке лёгких энергетических ресурсов, нефти и газа, перспектива ограничения их добычи, экологическая угроза от всевозрастающего их потребления вызывает серьёзное беспокойство мирового, в том числе украинского, сообществ, побуждая к поиску альтернативных источников энергии. Естественно, уголь различной степени метаморфизма, отходы углеобогащения, другие углеродсодержащие отходы являются наиболее перспективными для восстановления энергетического баланса.

По многим прогнозам запасов угля в мире хватит на несколько столетий. Уже в настоящее время 25 % энергии производится из угля и его значение возрастает. Однако непрерывно снижающееся качество угля, прямое сжигание, структура его потребления промышленностью, порождают целый ряд проблем – экологического, технического характера, баланса его потребления и другие.

Так, при непосредственном сжигании угля образуется большое количество вредных выбросов загрязняющих окружающую среду: диоксид серы SO_2 , окиси азота NO , образующих кислоты при контакте с атмосферной влагой; диоксид углерода CO_2 , на долю которого приходится 50 % выбросов в атмосферу, создающих парниковый эффект.

В Украине запасы угля сосредоточены в трёх угольных бассейнах. В самом большом, Донбассе, запасы угля составляют примерно 240 млрд. т, здесь сосре-

доточены почти все марки углей – коксующиеся (малая часть запасов), антрацит, газовый уголь. Они характеризуются относительно большой теплотой сгорания, повышенной зольностью (в среднем 25 %) и значительным содержанием серы (среднее содержание – 2,5 %) [1]. Основную часть, почти 14 млн. т, угольных запасов Львовско-Волинского бассейна составляет газовый уголь (высоколетучий энергетический). Другие запасы, переходный уголь от газового к жирному, отличается высоким химическим потенциалом. Зольность угля от 5 до 35 %, содержание серы – (1,5-9) % [2]. Уголь Днепровского бурогоугольного бассейна, характеризуется высокой влажностью (до 60 %) и используется, в основном, на месте, из-за непригодности для транспортировки на далёкие расстояния. Зольность угля 15-45 % и выше, выход летучих веществ составляет (45-70) % [3].

Следует отметить, что добыча качественных спекающихся, газовых жирных углей и антрацитов более, чем в 2 раза, превышает их долю в запасах. В то же время, добыча углей марок Б, Д, ДГ и Г меньше их доли в балансовых запасах в 1,2-7,4 раза. Структура добычи углей в Украине не соответствует имеющимся запасам, что отчасти объясняется тем, что низкосортные угли не находят широкого применения в металлургической промышленности, где расходуется около третьей части от общего потребления [4]. Непрерывно снижающееся качество добываемого энергетического угля подвигает к решению новых технических проблем: поджига и поддержания горения такого угля; повышение его теплотворной способности; утилизации отходов; непрерывно усугубляющиеся экологические проблемы. Немалая проблема технико-экономического характера состоит в переводе энергегенерирующих мощностей Украины с газопотребления на сжигание твёрдого топлива.

Все вышеперечисленные проблемы энергопотребления могли бы быть решены путём переработки углеродсодержащих сред методом газификации. Метод может быть реализован различными известными способами и установками термической переработки дисперсных систем. Но в этом разнообразии способов и средств газификации особенного внимания заслуживает аллотермический пароплазменный способ, универсальный по качеству перерабатываемого сырья, отличается высокой ((2000-6000) К) температурой, а значит скоростью проходящих процессов. Обеспечивает экологическую безопасность процесса переработки, возможность использования влаги в качестве окислителя, повышая при этом теплотворную способность генерируемого газа за счёт водорода из деструктурированной влаги.

Способ может быть эффективно использован не только для переработки угля, водоугольного топлива (ВУТ), но и широкого класса углеродсодержащих сред – отходов углеобогащения, шламовых отходов систем водоочистки, а также токсичных органических соединений. Генерируемый при этом синтез-газ на (97-98) % состоит из СО и Н₂, теплотворная способность которого достигает (11,5-12) МДж/м³. В таком качестве, он может быть использован для синтеза метилового спирта, моторного топлива, рабочих сред в технологиях с топливными элементами или для получения тепла и электричества. Пароплазменный способ подготовки топлива решает проблему выбросов в атмосферу вредных и токсичных веществ, уменьшая их в сотни раз по сравнению с прямым сжиганием. Решается также проблема утилизации зольного остатка. Свободный от углерода, он может быть использован в строительной индустрии. При комплексной переработке составляющих зольного остатка, можно получить полезные Fe, Si, Al и другие элементы, путём их восстановления при температуре (2500-3000) К. Газификацией углей, особенно низкока-

чественных неспекающихся типа Б, Д, ДГ, запасы которых имеются практически во всех регионах Украины, может улучшить структуру добычи и запасов углей, таким образом перекрыть потребности металлургии в газообразном топливе.

Термическая переработка твёрдого топлива имеет ряд стадий: подсушка топлива и его подогрев, возгонка летучих и их горение, переработка кокса. Определяющей интенсивность и энергоёмкость газификации в целом, является стадия конверсии углерода в коксовом остатке. Она является наиболее длительной (до 90 % общего времени термических преобразований), имеет решающее значение в создании тепловых условий протекания других стадий, является основой правильного построения технологического процесса. Он включает: траекторию движения подаваемых в реакционную камеру твёрдых диспергированных веществ; развитие вихревых течений, составляющих сложную структуру аэродинамики камеры; конвективный теплообмен между газовыми потоками и содержащимися в них частицами топлива; передача тепла, выделяющегося при химическом превращении в реагирующей среде; радиационный теплообмен частиц с газовой средой и дуговым разрядом, а также с экранными поверхностями в реакционной камере; нагрев частиц, возгонка летучих и др.

Все перечисленные процессы происходят при высоких температурах и с различной скоростью. При этом практическое значение имеет такая скорость реакции, при которой происходил бы устойчивый, с полной глубиной, процесс окисления составляющих топлива, что происходит при постоянной подаче в зону горения в необходимом соотношении окислителя и горючих компонентов. При нарушении стехиометрических соотношений в любую сторону, скорость реакции снижается и вследствие этого уменьшается тепловыделение на единицу объёма. Все это ставит газификацию угля в ряд сложных физико-химических процессов, состоящих из химических реакций и физических процессов, протекающих в условиях взаимной связи и взаимного влияния [2].

Для оценки эффективности использования топлив в процессах термической переработки, воспользуемся необходимым в этих случаях его техническим анализом определяемым элементным химическим составом. В исследования включены следующие типы углей: Донецкие антрациты АШ1 и АШ2 (А1 и А2), Львовско-Волынские (длиннопламенный – Д, газовый – Г, сапропелитовый – С); Александровские бурые (Морозовский – М, Константиновский – К), Тюльганский – Т, Ново-волынский – Н и шлам – Ш. Физико-химические характеристики этих углей, их элементный состав на 1 кг рабочей массы приведены в табл. 1.

Для установления основных закономерностей процесса газификации углеродсодержащих сред на основе углей и шламов различного состава, физико-химические характеристики которых приведены в табл. 1, выполнены термодинамические исследования равновесного состава компонентов газовой и конденсированной фаз в зависимости от температуры процесса. Исследования термической переработки многокомпонентной гетерогенной системы, осуществлялись с использованием программного комплекса «Астра-4».

Исследования выполнены в диапазоне изменения температур (500-4000) К при давлении 0,1 МПа. Учитывая стехиометрию химических реакций, протекающих при пароплазменной газификации ВУТ, установлено [5], что наибольший выход синтез-газа наблюдается при коэффициенте избытка окислителя α , равном 0,4-0,45. Для данного значения α произведен перерасчёт рабочих составов водоугольных топлив, которые приведены в табл. 2.

Результаты исследований процесса пароплазменной переработки ВУТ, на примере угля марки АШ1, представлены на рис. 1.

Таблица 1 – Исходный поэлементный состав исследуемых углей и шламов

Вид угля	Исходный химический состав углей, % массы элементов на 1 кг угля																		
	A	W	S	C	H	O	N	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	SO ₃	V ₂	Q _H	
A1	18,96	7,50	1,55	68,02	1,47	1,91	0,59	9,60	4,43	2,77	0,87	0,64	0,64	-	-	-	4,00	20,89	
A2	30,2	8,5	1,60	56,40	1,10	1,70	0,50	15,2	7,28	4,37	1,38	0,97	1,00	-	-	-	5,00	16,39	
Д	13,2	12,0	0,40	58,60	4,20	9,70	1,90	6,66	3,10	1,95	0,55	0,45	0,49	-	-	-	42,0	23,74	
Г	22,5	10,0	3,00	53,30	3,50	6,70	1,00	11,4	5,28	3,29	1,044	0,743	0,743	-	-	-	39,0	21,44	
М	7,56	56,30	1,40	23,13	2,24	7,23	2,15	4,76	1,36	0,36	0,53	0,09	-	0,04	0,05	0,38	17,5	28,63	
К	8,54	54,60	1,54	24,26	2,15	7,37	1,84	2,83	1,52	0,72	1,67	0,26	-	0,06	0,14	1,33	20,5	28,02	
Т	12,50	55,20	0,15	21,35	2,13	8,46	0,26	6,22	4,31	0,20	0,52	0,36	-	0,30	0,15	0,22	65,2	27,55	
Н	19,89	9,60	2,26	56,42	3,60	7,33	0,90	11,23	4,12	2,20	1,40	0,10	0,50	0,12	0,22	-	38,7	22,40	
С	8,36	5,00	2,66	72,17	5,83	4,77	1,21	2,81	2,48	2,53	0,31	0,05	0,05	0,06	0,07	-	48,9	30,23	
Ш	44,1	1,20	2,80	26,80	1,80	20,4	2,90	24,82	9,11	4,86	3,24	0,22	1,10	0,26	0,49	-	39,99	13,00	

Таблица 2 – Рабочие составы водоугольных топлив при коэффициенте избытка окислителя α = 0,4-0,45

Вид	Состав, % массы элементов на 1 кг топлива																
	A	W	S	C	H	O	N	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	SO ₃	
A1	9,98	51,32	0,82	35,80	0,77	1,01	0,31	5,05	2,33	1,46	0,46	0,34	0,34	-	-	-	
A2	17,54	46,77	0,93	32,81	0,64	0,99	0,29	8,89	4,11	2,57	0,82	0,56	0,59	-	-	-	
Д	8,25	45,00	0,25	36,63	2,66	6,06	1,19	4,17	1,93	1,21	0,38	0,28	0,28	-	-	-	
Г	14,23	43,00	1,90	33,76	2,22	4,25	0,63	7,21	3,34	2,08	0,66	0,47	0,47	-	-	-	
М	10,85	37,30	2,01	33,19	3,21	10,37	3,09	6,83	1,95	0,51	0,76	0,14	-	0,06	0,07	0,54	
К	12,37	34,20	2,24	35,16	3,11	10,69	2,67	4,11	2,20	1,05	2,42	0,38	-	0,09	0,20	1,92	
Т	19,67	29,50	0,24	33,60	3,35	13,32	0,41	9,80	6,79	0,31	0,83	0,57	-	0,47	0,24	0,35	
Н	11,79	46,41	1,34	33,44	2,13	4,34	0,53	6,66	2,44	1,30	0,83	0,06	0,30	0,07	0,13	-	
С	4,15	52,85	1,32	35,82	2,89	2,37	0,60	1,39	1,23	1,26	0,15	0,02	0,02	0,03	0,03	-	
Ш	34,05	23,71	2,16	20,69	1,39	15,75	2,24	19,17	7,03	3,75	2,50	0,17	0,85	0,20	0,38	-	

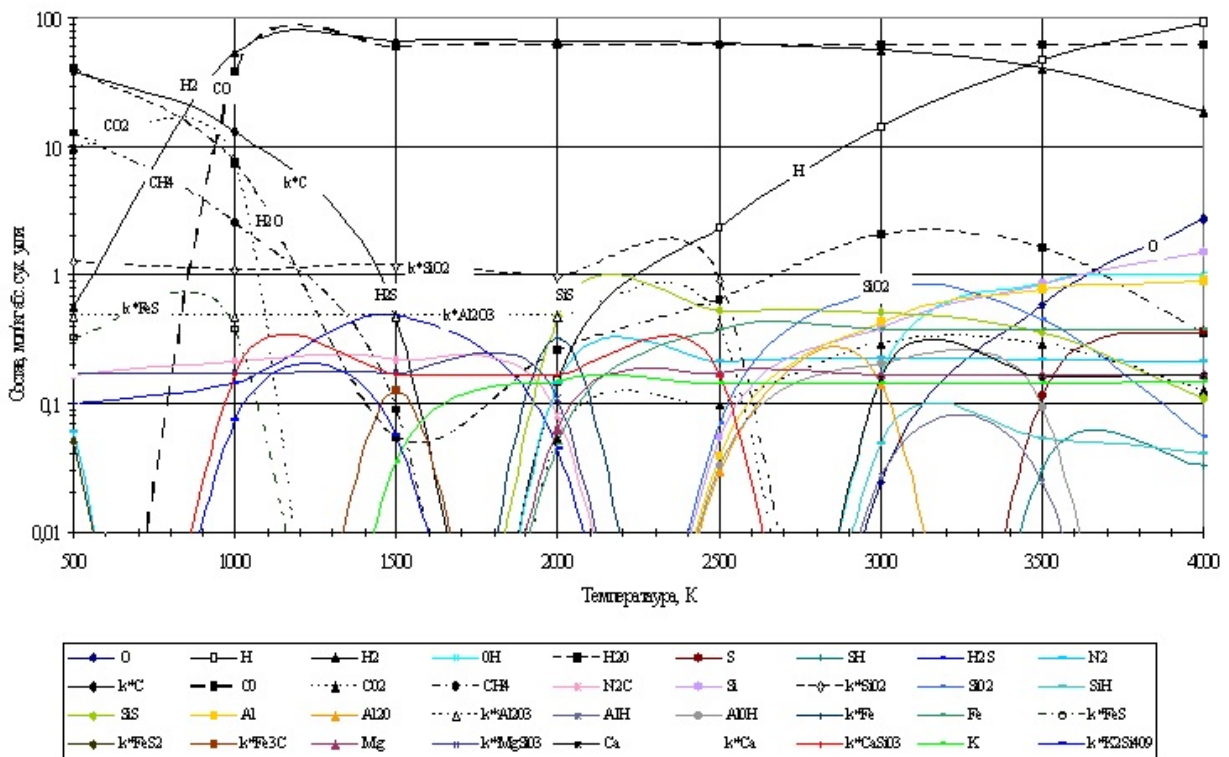
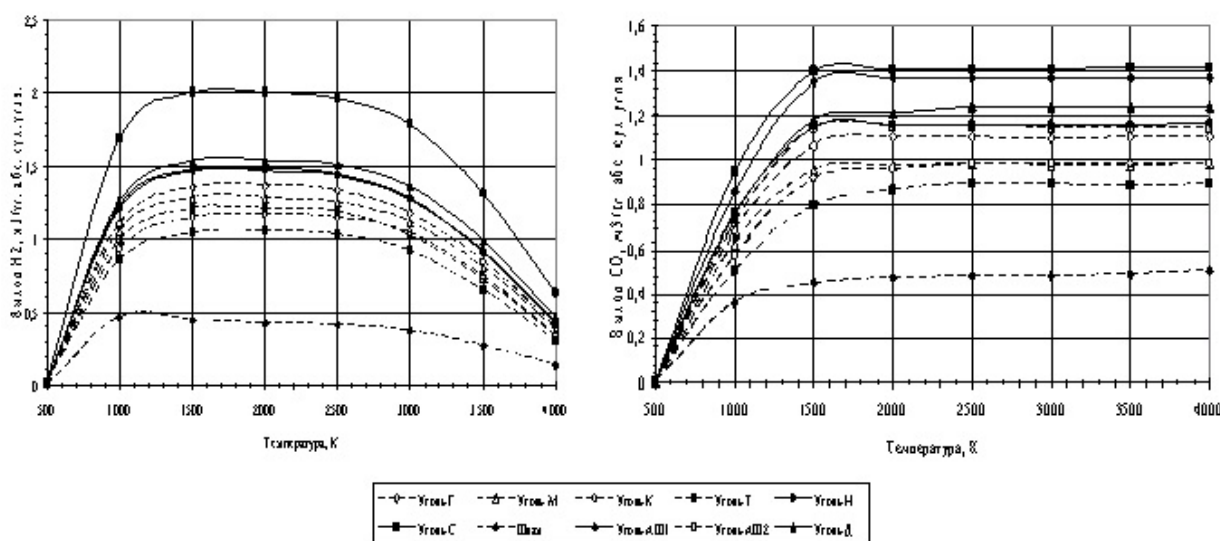


Рис. 1 – Результаты расчётов процесса термической переработки ВУТ на примере угля марки АШ 1

Установлено, что увеличение температуры до (1800-2000) К ведёт к полному разложению сероводорода, диоксида углерода. В газовой фазе наблюдается рез-

кое возрастание компонентов синтез-газа H_2 и CO . Уже при температуре (1600-1700) К заканчивается конверсия углерода в его конденсированной фазе для всех типов углей и шлама. Наблюдается максимальный выход полезных продуктов в газовой фазе, где не содержится сероводород, диоксид углерода, диазот и другие вредные соединения. Газовая фаза на (97-99) % состоит из H_2 и CO . Дальнейшее повышение температуры (≥ 2000 К) ведёт к разложению молекулярного водорода на атомарный (рис. 2). Происходят восстановительные процессы в конденсированной фазе, что ведёт к образованию ценных продуктов Al, Mg, Fe, Ca, Si, SiO_2 . Уже при температуре (3000-3500) К конденсированная фаза полностью восстанавливается, переходя в газовую. Известными техническими приёмами, каждый из этих элементов может быть выделен и утилизирован по назначению.



а б

Рис. 2 – Зависимость выхода H_2 (а) и CO (б) от температуры процесса и вида топлива

Анализ пароплазменной переработки различных марок углей показывает, что процесс конверсии углерода происходит идентично во всех марках угля. Максимальный выход H_2 и CO во всех марках угля происходит в диапазоне (1600-1700) К и заканчивается при (1800-2000) К. Количество газов зависит от физико-химических свойств угля и содержания в нем углерода. Так, если содержание углерода в углях марок С, Д и АШ превышает 35 %, то выход газа составляет: (1,4-2) m^3 по H_2 , (1,2-1,4) m^3 по CO на 1 кг сухой массы исходного продукта. В то же время для шлама, где содержание углерода не превышает 21 %, выход H_2 составляет менее 0,5 m^3 , а CO – (0,8-0,9) m^3 на 1 кг сухой массы. Для остальных марок угля, выход полезного продукта находится в соответствии с их физико-химическими характеристиками.

Анализируя показатели суммарного выхода газов (рис. 3) следует отметить следующее. Суммарная доля полезного продукта вполне соответствует сумме их отдельных показателей и составляет, для тех же углей марок С, Д, АШ, наибольший выход (2,7-3,4) m^3 на 1 кг сухой массы.

Полезные составляющие газовой фазы остальных углей находятся в пределах (2-2,5) m^3/kg исходного топлива, что пропорционально содержанию в них углерода. Балласт в газовой фазе всех углей не превышает 0,1 m^3/kg , что составляет (1,5-2) % общего объёма газов. Он представлен водяным паром, соединениями N_2C и др. Более показателен в этом плане состав газовой фазы шламов (содержание углерода 21 %). Синтез-газ не превышает 0,5 m^3/kg , а балласт доходит до (0,25-

0,3) м³/кг, что составляет 21 % от общего объёма газовой фазы. Балласт представлен парами воды (0,155 м³), азотом (0,024 м³), CO₂ (0,037 м³) и др., что свидетельствует об избытке окислителя в смеси.

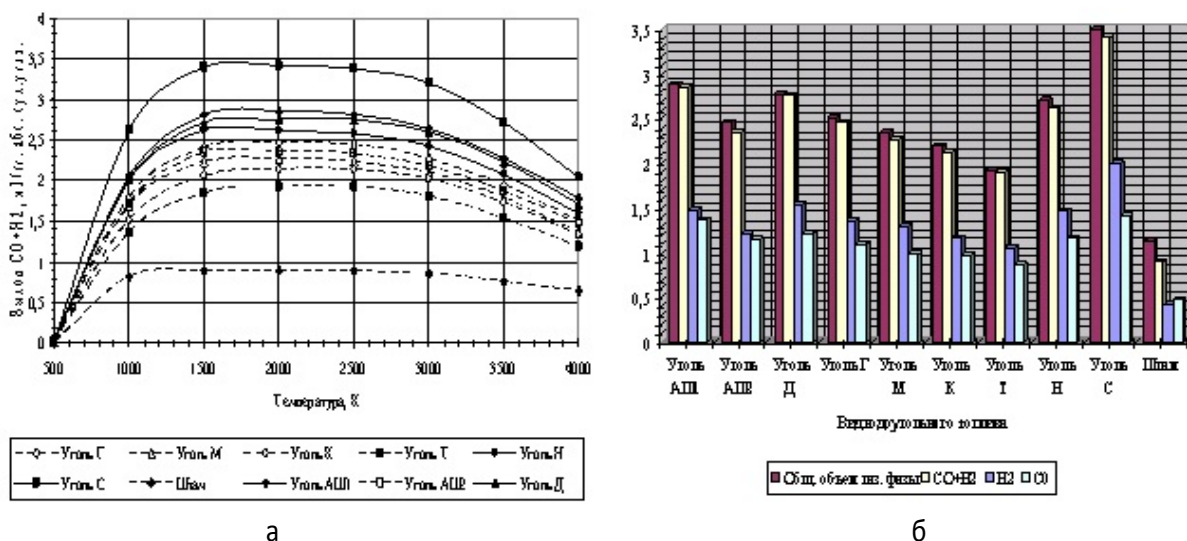


Рис. 3 – Суммарный выход синтез-газа (а) и общий объём газовой фазы (б) для исследуемых марок угля при температуре 2000 К

Выводы

Результаты расчётов термической переработки углей различных регионов Украины в данной работе представлены качественными и количественными показателями. Установлено, что при температуре (1800-2000) К газовая фаза на (97-98) % состоит из H₂ и CO. Процесс полной конверсии углерода находится в пределах (1800-2000) К для всех марок углей, для шламов она может быть в пределах (1700-1800) К, что определяет степень переработки углерода достигающей (97-98) % при пароплазменной газификации.

Конденсированная фаза минеральной части всех углей преобразуется в ценные элементы Al, Mg, Fe, Ca, Si, SiO₂ и др., путём их восстановления из окислов при температурах (2500-3500) К. В газовой фазе продуктов газификации практически отсутствуют или находятся в пределах (1,0-1,5) % от общего объёма, вредные и токсичные соединения. Зола практически свободна от углерода и может быть использована в строительной индустрии, не загрязняя окружающую среду. Угли низкой степени метаморфизма, низкосортные, неспекающиеся, такие как Д, М, К, газифицируются так же, как АШ1, АШ2, С и др., из которых может быть получен высококалорийный синтез – газ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лысенко, В.Г. Топливо. Рациональное сжигание, управление и технологическое использование [Текст] / В.Г. Лысенко, Я.М. Щелоков, М.Г. Ладыгичев // Справочное издание в 3-х книгах. – М.: Теплотехника, 2004. – 608 с.
2. Матвеева, И.И. Энергетическое топливо СССР [Текст] / И.И. Матвеева, Н.В. Новицкий [и др.]. – М.: Энергия, 1979. – 128 с.
3. Костерев, Ф.М. Теоретические основы теплотехники [Текст] / Ф.М. Костерев, В.И. Кушнырев. – М.: Энергия, 1977. – 273 с.
4. Ильченко, К.Д. Теплофизические свойства материалов металлургического производства [Текст] / К.Д. Ильченко, Ю.И. Розенгарт, Ю.С. Зайцев. – Харьков, 1995. – 196 с.
5. Плазменная газификация водоугольных топлив [Текст] / А.Ф. Булат, В.В. Шумриков, Б.Д. Алымов, Л.Т. Холявченко [и др.] // Геотехническая механика: Междвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2006. – Вып. 67. – С. 185-196.

Об авторе

Давыдов Сергей Леонидович, ведущий инженер отдела Проблем разрушения горных пород,, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепрпетровск, Украина

About the author

Davydov Sergey Leonidovich, Engineer of Department of Rock Breaking Problems, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine

УДК 628.517.4:621.752

Г.Н. Агальцов, инженер, мл. научн. сотр.
(ИГТМ НАН Украины)

ВИБРОИЗОЛЯЦИЯ ВИХРЕВЫХ СМЕСИТЕЛЕЙ АГЛОФАБРИК С ПОМОЩЬЮ РЕЗИНОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Аннотация. Рассматривается защита тяжёлых машин от действия вибрационных нагрузок при помощи резиновых элементов.

Ключевые слова: вибрация, вихревой смеситель, виброизолирующая система, электромагнитные силы, виброизолятор

G.N. Agaltsov, Engineer, Junior Researcher
(IGTM NASU)

VIBRATION INSULATION OF WHIRLWIND AMALGAMATORS OF SINTER PLANTS BY MEANS OF RUBBER ELEMENTS

Abstract. The protection of heavy machinery from the action of vibration loads with rubber elements is considered.

Keywords: vibration, whirlwind amalgamator, vibration insulation system, electromagnetic forces, vibro-insulator

1. Введение

Тяжёлые технологические машины, применяемые в горной, металлургической и других отраслях промышленности, характеризуются значительными низкочастотными вибрациями и шумом, что определяется спецификой их работы, вибрационное воздействие машины на опорные конструкции способствует интенсивному износу основных узлов и деталей, тем самым снижается производительность и качество выпуска продукции. Кроме того, высокий уровень вибрации и шума, создаваемый машинами, оказывает вредное воздействие на обслуживающий персонал, ухудшает условия их труда.

Эффективным средством защиты от вибрационного воздействия является виброизоляция машин и оборудования. Защита от вибрационного воздействия обеспечивается устройствами, расположенными между машиной и опорной конструкцией, в качестве таких устройств применяют виброизоляторы, демпферы, динамические гасители. Опыт эксплуатации существующих конструкций виброзащитных систем показывает, что такие конструкции сложны в эксплуатации, требуют больших капитальных затрат, а в некоторых случаях просто не работоспособны, вопросам виброизоляции тяжёлых технологических машин не уделялось должного внимания из-за сложности их эксплуатации и значительных динамических нагрузок, создаваемых этими машинами. Поэтому создание виброизолирующей