

Самбаева Д.А.

**СНИЖЕНИЕ ЭМИССИИ ОКСИДОВ УГЛЕРОДА  
В ГАЗОВОЙ ФАЗЕ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО  
СЫРЬЯ ВОДНЫМИ ПРИСАДКАМИ**

*D.A. Sambaeva*

**REDUCTION OF CARBON OXIDES EMISSIONS IN  
GASEOUS PHASE ON THE BASE OF MODIFICATION OF ORGANIC RAW  
MATERIAL WITH WATER ADDITIVES**

УДК: 66.063.61: 661.993

*В статье приведены равновесные и термодинамические характеристики системы: углеводороды нефти-кислород-вода при  $P=0,1$  МПа, и на их основе выявлен химизм конверсии CO в CO<sub>2</sub> в парогазовой фазе.*

*In this article following thermodynamic and equilibrium system characteristics are presented: carbonhydrates of oil, oxygen and water under the pressure  $P=0.1$  mPa and on these bases chemism of conversion of CO into CO<sub>2</sub> has been shown in vapor-water phase.*

Известно, что биогеохимический цикл углерода, естественно очень сложный, так как он включает не только функционирование всех форм жизни на Земле, но и перенос минеральных веществ, как между различными резервуарами углерода, так и внутри них. Основными резервуарами углерода являются атмосфера, континентальная биомасса, включая, почву, гидросферу с морской биотой и литосферу. Соответственно, глобальные циклы переноса углерода, азота, кислорода и воды в окружающей природной среде являются одним из основных, жизнеобеспечивающих факторов геосферных оболочек Земли.

В связи с изложенным выше изучение процессов модифицирования органического и минерального сырья с целью минимизации эмиссии оксидов углерода в газовой фазе является актуальной задачей. С учетом этих обстоятельств в данной работе осуществлено физико-химическое моделирование органических топливных систем (ж) и получены данные, позволяющие оценить термодинамические параметры и равновесные концентрации оксидов углерода (II, IV) в газовой фазе, а также приведены результаты по конверсии оксидов углерода в газовой фазе водяными парами водотопливных эмульсий.

Методическую основу расчетных параметров составили модели, для которых предусматривается возможность образования газообразных веществ, электронейтральных и ионизированных компонентов. Равновесные данные определены путем решения задачи о нахождении экстремума энтропии [1].

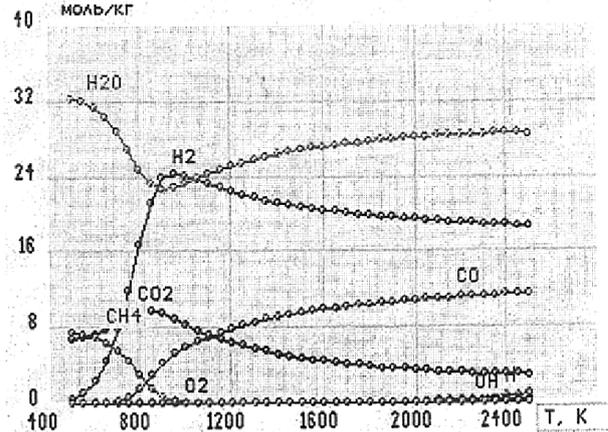
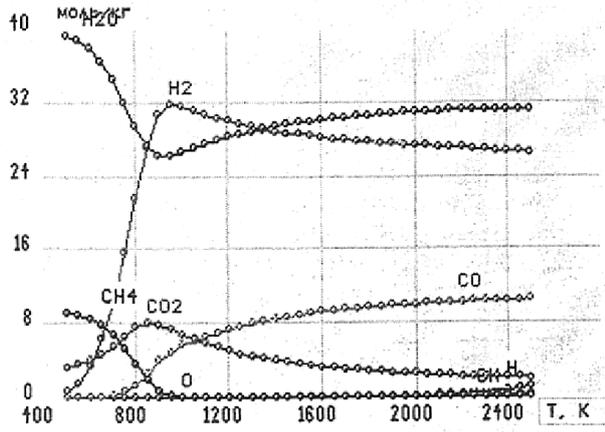
В базу данных термодинамических свойств индивидуальных веществ включены информации об оксидах углерода. Химический состав жидкого топлива (мазута) включил элементы (%):

C-82,3, H- 11,2, S-2,0, N-0,5;

вода для получения эмульсии (ВМЭ) содержала соли (моль/л):

Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>- 1,83·10<sup>-3</sup>, CaSO<sub>4</sub>-9,3·10<sup>-4</sup> ( $\Sigma$ Ca – 2,76·10<sup>-3</sup>), MgSO<sub>4</sub>-3·10<sup>-4</sup>, NaNO<sub>3</sub>-1, 29·10<sup>-4</sup>, NaCl – 1,0·10<sup>-3</sup>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> - 8·10<sup>-3</sup> ( $\Sigma$ Na – 2,73·10<sup>-3</sup>).

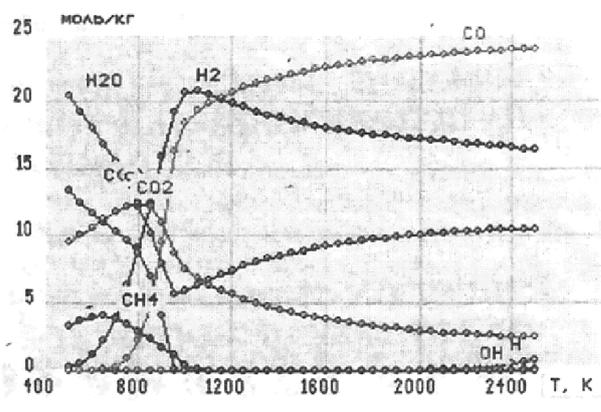
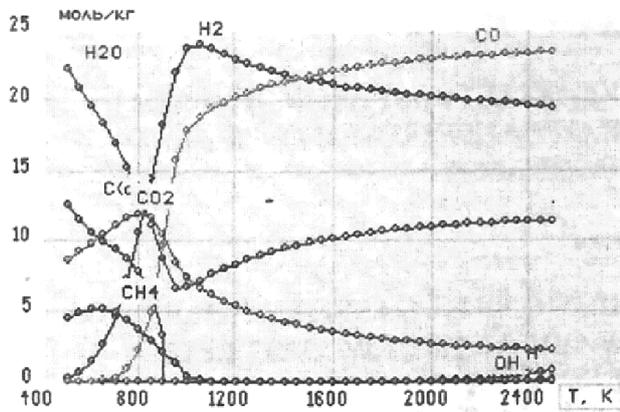
Мазут рассмотрен как продукт переработки нефти (с молекулярной массой от 400 до 1000 г/моль), поэтому сначала были изучены процессы конверсии отдельных алканов (C<sub>n</sub>H<sub>2n+2</sub>), нафтенов (C<sub>n</sub>H<sub>n+2</sub>, C<sub>n</sub>H<sub>n-2</sub>, C<sub>n</sub>H<sub>n-4</sub>) аренов (C<sub>n</sub>H<sub>n-6</sub>) в среде кислород-вода при широких спектрах изменения содержания воды с целью прогнозирования глубоких структурных изменений в молекулярном составе углеводородов нефти и повышение степени дисперсности асфальтенов, карбенов и карбоидов. Здесь следует заметить, что длинные молекулярные цепи преобразовываются в легкие углеводородные радикалы газовых и дисгиллятных топливных фракций. При этом в газовой фракции могут содержаться метан, этан, оксиды углерода, водород, водяной пар, активные радикалы и атомарные частицы, о чем и свидетельствует изменение энергетических свойств компонентов топливной системы (табл. 1-5).



а)

б)

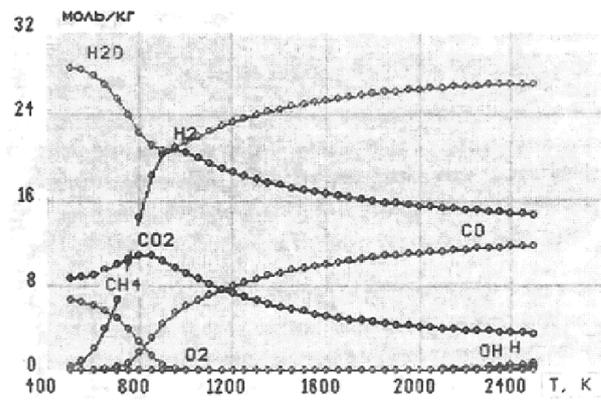
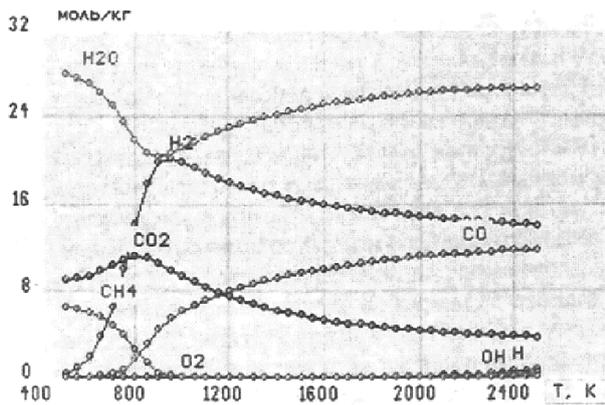
Рис.1. Равновесные составы и концентрации компонентов, образующихся в системах:  
(а)  $\text{CH}_4\text{-O}_2\text{-H}_2\text{O}$  (1:1:3), (б)  $\text{C}_2\text{H}_4\text{-O}_2\text{-H}_2\text{O}$  (1:1:3) при  $P=0,1$  МПа



а)

б)

Рис.2. Равновесные составы и концентрации компонентов, образующихся в системах:  
(а)  $\text{C}_2\text{H}_2\text{-O}_2\text{-H}_2\text{O}$  (1:1:1), (б)  $\text{C}_3\text{H}_2\text{-O}_2\text{-H}_2\text{O}$  (1:1:1) при  $P=0,1$  МПа



а)

б)

Рис.3. Равновесные составы и концентрации компонентов, образующихся в системах:  
(а)  $\text{C}_4\text{H}_4\text{-O}_2\text{-H}_2\text{O}$  (1:1:3), (б)  $\text{C}_7\text{H}_8\text{-O}_2\text{-H}_2\text{O}$  (1:1:1) при  $P=0,1$  МПа

Таблица 1

Изменение свойств системы  $\text{CH}_4\text{-O}_2\text{-H}_2\text{O}$  (1:1:3) при  $P=0,1$  МПа,  $\mu=52,332$  моль/кг,  $\text{MMq}=19,1088$  г/моль,  $Rq=435,107$  Дж/(кг·К),  $z=0$

Наименование параметров	$\text{CH}_4\text{-O}_2\text{-H}_2\text{O}$ (1:1:3), моль/кг: С -12,467; Н- 116,478; О- 45,806				
	Температура, К				
	500	1000	1500	2000	2500
$V \cdot 10^2, \text{ м}^3/\text{кг}$	217,553	587,025	881,813	1176,41	1484,02
$S, \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$	11,1934	15,2765	16,4824	17,3567	18,1918
$I, \text{ кДж}/\text{кг}$	-11088,7	-8032,79	-6548,56	-5026,04	-3141,11
$U, \text{ кДж}/\text{кг}$	-11176,5	-8444,8	-7255,1	-6027,08	-4448,15
$C_p \cdot 10^4, \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$	25343,5	32838,9	29517,7	32064,9	47846,5
$Mu \cdot 10^5, \text{ Па} \cdot \text{с}$	1,78	3,56	4,83	5,96	6,97
$Lt \cdot 10^5, \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$	29217	19003,4	26384,3	35162	89535,8
$Pr \cdot 10^3$	154,406	615,35	540,872	543,402	372,724

Таблица 2

Изменение свойств системы:  $\text{C}_2\text{H}_2\text{-O}_2\text{-H}_2\text{O}$ (1:1:1) при  $P=0,1$  МПа,  $\mu=48,0461$  моль/кг,  $\text{MMq}=17,837$  г/моль,  $Rq=466,131$  Дж/(кг·К),  $z=0$

Наименование параметров	$\text{C}_2\text{H}_2\text{-O}_2\text{-H}_2\text{O}$ (1:1:1), моль/кг: С -25,604; Н- 62,610; О- 39,337				
	Температура, К				
	500	1000	1500	2000	2500
$V \cdot 10^2, \text{ м}^3/\text{кг}$	147,359	466,131	709,741	946,802	1192,76
$S, \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$	7,97333	12,3828	13,417	14,0769	14,6854
$I, \text{ кДж}/\text{кг}$	-8777,57	-5225,11	-3971,65	-2823,24	-1451,08
$U, \text{ кДж}/\text{кг}$	-8837,06	-5552,26	-4540,32	-3628,9	-2501,6
$C_p \cdot 10^4, \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$	19580,3	50202,3	22579,7	23875,2	33772,5
$Mu \cdot 10^5, \text{ Па} \cdot \text{с}$	1,95	3,78	4,99	6,06	7,04
$Lt \cdot 10^5, \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$	0.23524,4	44257,2	22068,5	517,542	70878
$Pr \cdot 10^3$	157,264	429,991	500,19	517,542	335,276

Таблица 3

Изменение свойств системы:  $C_3H_2-O_2-H_2O$  (1:1:1) при  $P=0,1$  МПа,  
 $\mu=46,8299$  моль/кг,  $MMq=25,1079$  г/моль,  $Rq=331,145$  Дж/(кг·К),  $z=0,161226$

Наименование параметров	$C_3H_2-O_2-H_2O(1:1:1)$ , моль/кг: С -26,282; Н- 54,5227; О- 39,337				
	Температура, К				
	500	1000	1500	2000	2500
$V \cdot 10^2, м^3/кг$	138,878	438,959	667,799	890,829	1121,87
$S, кДж/(кг \cdot К)$	7,57151	11,7982	12,7747	13,4001	13,9714
$I, кДж/кг$	-8626,07	5204,3	-4019,77	-2931,72	-1643,54
$U, кДж/кг$	-8682,13	-5512,39	-4554,84	-3689,75	-2631,62
$C_p \cdot 10^4, кДж/(кг \cdot К)$	18425	46616	21436,8	22555,6	31491,9
$Mu \cdot 10^5, Па \cdot с$	1,98	3,81	5,02	6,09	7,07
$Lt \cdot 10^5, Вт/(м \cdot К)$	22161,4	40988,6	20688,8	25939,1	66247,7
$Pr \cdot 10^3$	160,136	433,538	519,874	529,664	336,203

Таблица 4

Изменение свойств системы:  $C_4H_4-O_2-H_2O$  (1:1:3) при  $P=0,1$  МПа,  
 $\mu=$  моль/кг,  $MMq=$  г/моль,  $Rq=$  Дж/(кг·К),  $z=0$

Наименование параметров	$C_4H_4-O_2-H_2O(1:1:3)$ , моль/кг: С - 15,362; Н- 81,973; О- 45,806				
	Температура, К				
	500	1000	1500	2000	2500
$V \cdot 10^2, м^3/кг$	181,109	468,061	702,758	937,465	1181,85
$S, кДж/(кг \cdot К)$	9,57209	12,738	13,7642	14,4966	15,1803
$I, кДж/кг$	-10423,1	-8044,08	-6781,3	-5506,52	-3963,76
$U, кДж/кг$	-10496,2	-8372,59	-7344,38	-6304,23	-5004,67
$C_p \cdot 10^4, кДж/(кг \cdot К)$	20018,4	27430,8	24939,4	26580,9	38960,9
$Mu \cdot 10^5, Па \cdot с$	1,92	3,69	4,98	6,12	7,15
$Lt \cdot 10^5, Вт/(м \cdot К)$	21843,9	16006,1	21760,3	27795,2	74135,9
$Pr \cdot 10^3$	175,782	632,051	570,344	584,983	375,886

Таблица 5

Изменение свойств системы:  $C_7H_8-O_2-H_2O(1:1:3)$  при  $P=0,1$  МПа,  
 $\mu=$  моль/кг,  $MMq=$  г/моль,  $Rq=$  Дж/(кг·К),  $z=0$

Наименование параметров	$C_7H_8-O_2-H_2O(1:1:3)$ , моль/кг: С - 15,194; Н- 83,975; О- 45,806				
	Температура, К				
	500	1000	1500	2000	2500
$V \cdot 10^2, м^3/кг$	183,214	474,965	713,149	951,333	1199,38
$S, кДж/(кг \cdot К)$	9,6677	12,8871	13,924	14,6647	15,357
$I, кДж/кг$	-10462	-8042,72	-6766,67	-5477,51	-3915,28
$U, кДж/кг$	-10535,9	-8376,07	-7338,07	-6287,03	-4971,63
$C_p \cdot 10^4, кДж/(кг \cdot К)$	20285,3	27765,8	25207,5	26897,4	39451,1
$Mu \cdot 10^5, Па \cdot с$	1,91	3,68	4,97	6,11	7,14
$Lt \cdot 10^5, Вт/(м \cdot К)$	22162,3	16197,7	22048,8	28186,1	75136,4
$Pr \cdot 10^3$	174,768	630,926	568,006	582,895	375,037

Из приведенных данных выше видно, что конверсия отдельных фракций жидкого топлива (углеводородов нефти): метана ( $CH_4$ ), этилена ( $C_2H_2$ ), ацетилена ( $C_2H_2$ ), циклопропадиена ( $C_3H_2$ ), циклобутана ( $C_4H_4$ ), толуола ( $C_7H_8$ ) водой осуществлено с участием кислорода при  $P=0,1$  МПа и  $T=500-2500$  К. При этом были определены равновесные составы и концентрации компонентов, образующихся в водотопливных системах при различных соотношениях компонентов (от 1:1:1 до 1:1:5) (рис. 1-3).

Показано, что в равновесных условиях имеют место образование атомарных и ионных частиц ( $O, H, C, C(k), O, H, OH^-, H_2O^+, CHO^+, H_3O^+$ ), радикалов ( $OH, NO_2, C_2O, CH, CH_2, CH_3, CNO, CNO_2, CH_2O, CH_3O$ ) и молекул ( $O_2, H_2, H_2O, H_2O_2, CO, CO_2, CH_4, C_2H_2, C_2H_4, C_2H_6, C_3H_8, CH_2O_2, C_2H_4O_2$ ), газовой и конденсированных фаз (рис. 1-3, здесь приведены основные компоненты газовой фазы).

В данном случае подробно рассмотрена только система, состоящая из метана, кислорода и воды, а именно  $CH_4-O_2-H_2O$  при температурах 1100-1500 К происходит диссоциация воды, и в ядре факела образуется  $H$  и  $OH$  (рис. 1а). Полученный водород, обладая высокой теплотой сгорания (более 18000 ккал/кг) вступает в реакцию окисления и становится дополнительным топливным элементом. Например, концентрация водорода в системе  $CH_4-O_2-H_2O$  (1:1:1) при 500 К составила 0,54441 моль/кг; 1000 К - 45,588; 1500 К-44,047; 2000 К-43,06; 2500 К-42,103 моль/кг. Аналогичный характер изменения концентрации молекулярного водорода имел и в других соотношениях компонентов рассматриваемой системы. В то же время, концентрация  $H_2O$  уменьшилась от 43,786 моль/кг(при 500 К) до 33,715 моль/кг (при 1000 К), затем плавно увеличилась до 37,21 моль/кг (2500 К). Такой же характер изменения концентра-

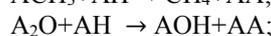
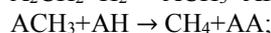
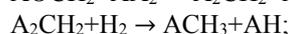
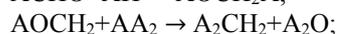
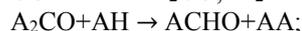
ции H<sub>2</sub>O обнаружено и при других соотношениях компонентов системы CH<sub>4</sub>-O<sub>2</sub>, -H<sub>2</sub>O. Увеличение концентрации H<sub>2</sub>O в газовой фазе, по-видимому связано взаимодействием таких радикалов, как H, OH, HO<sub>2</sub> и ионов O<sup>•</sup>, OHNH<sub>2</sub>O<sup>+</sup> и H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>. Концентрация метана при T=500 К равна 14,776 моль/кг, затем с ростом температуры падает до 0,4863·10<sup>-7</sup> моль/кг, т.е. практически до нуля; концентрация оксида углерода при изменении соотношений компонентов, а именно воды в топливных системах составляет примерно 24 моль/кг при (1:1:1), а при (1:1:3) 12 моль/кг, т.е. концентрация СО в газовой фазе уменьшается (рис. 1). С повышением температуры и увеличением концентрации воды в системе, сначала содержание СО<sub>2</sub> растёт. Например, при T=500 К, C<sub>CO2</sub>=4,6869 моль/кг, а при T=1000 К, C<sub>CO2</sub>=5,9325 моль/кг, затем уменьшается до 1,2761 моль/кг (2500 К). Такой характер изменения концентрации СО<sub>2</sub> в газовой фазе связано с доокислением оксида углерода. Атомарный водород и гидроксильная группа (ОН) при 1000 К и выше появляются в следовых количествах, затем постепенно увеличивается при T>2000 К, а атомарный кислород в газовой фазе имеет место только при T>1500 К.

Образование активных частиц в системе CH<sub>4</sub>-O<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O объясняется протеканием сложных ионно-радикальных сопряженных реакций, что и подтверждается с отрицательными значениями термодинамических параметров (I<0, U<0, табл.1). Теплоемкость системы в пределах 500-1000 К растёт, при 1500 К падает и затем снова возрастает. Аналогичный характер изменения носит и значение теплопроводности. Число Прандтля от 500 до 1000 К растёт, затем с ростом температуры до 2500 К падает.

На основании полученных выше данных были рассмотрены задачи генерации единой реакционной сети, описывающая образование разнообразных продуктов синтеза и конверсии СО водяными парами водотопливных эмульсий. При этом проведен анализ зависимостей, полученных при моделировании системы топливо(ж)-вода-воздух. Здесь прежде всего учитывалось условие образования оксида углерода в зоне горения и отмечены различные механизмы и варианты образования СО, и его взаимодействия с активными центрами. Показано, что при окислении топливных систем образуются С, Н, О – содержащие частицы следующих типов: СО, СО<sub>2</sub>, Н<sub>2</sub>, Н<sub>2</sub>О, Н<sub>2</sub>О<sub>2</sub>, НО<sub>2</sub>, О<sub>2</sub>, ОН и сделан вывод о том, что концентрация оксида углерода (СО) в газовой фазе можно лимитирована с наличием активных частиц типа НО<sub>2</sub>, обусловленной за счет диссоциации паров воды в топливной системе.

Анализ данных показал, что СО<sub>2</sub>, Н<sub>2</sub>О, О<sub>2</sub> выходит на постоянную величину в равновесных условиях. На концентрацию СО в газовой фазе оказывают большое влияние активные частицы пероксидально-го типа ОН, НО<sub>2</sub>, обусловленные за счет диссоциации паров воды при высоких температурах. Появление паров воды, диоксида углерода в зоне горения

топлив можно предположить в подобии механизмам каталитического дожигания [2]:



AOH+AH → H<sub>2</sub>O+AA, где, AA - активные частицы (активированный комплекс).

С целью моделирования данного механизма в практических условиях был предложен радикальный способ снижения СО в газовой фазе, а именно сжигание мазута в виде водомазутных эмульсий. Соответственно, получено концентрационное распределение частиц в газовой фазе при различных значениях температуры (1000-1800°С), количествах окислителя (1,02; 1,05; 1,1; 1,25) и воды (3,22-4,45 моль/кг), и приведены данные при оптимальном содержании воды в топливной эмульсии: а-1,02, Н<sub>2</sub>О=15%:

СО<sub>2</sub>, Н<sub>2</sub>О>О<sub>2</sub>>СО>ОН>Н<sub>2</sub>>О>Н>НО<sub>2</sub>>Н<sub>2</sub>О<sub>2</sub>> - СО<sub>2</sub>Н;

1000-1500°С, ОН>СО; 1500-1800°С, СО>ОН;

1000-1800°С, СО>НО<sub>2</sub>; α=1,05, Н<sub>2</sub>О=15%: СО<sub>2</sub>,

Н<sub>2</sub>О>О<sub>2</sub>>ОН>СО>Н<sub>2</sub>>О>Н>НО<sub>2</sub>>Н<sub>2</sub>О<sub>2</sub>>СО<sub>2</sub>Н;

1000-1600°С, ОН>СО; 1600-1800°С, СО>ОН;

1000-1800°С, СО>НО<sub>2</sub>; α=1,1, Н<sub>2</sub>О=15%:

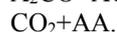
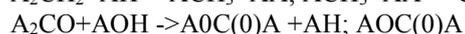
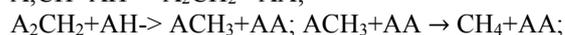
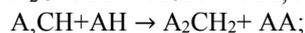
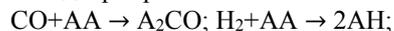
СО<sub>2</sub>, Н<sub>2</sub>О>О<sub>2</sub>- > ОН>СО>Н<sub>2</sub>>О>Н>НО<sub>2</sub>>Н<sub>2</sub>О<sub>2</sub>>СО<sub>2</sub>Н;

1000-1800°С, ОН>СО>НО<sub>2</sub>; а=1,25, Н<sub>2</sub>О=15%: СО<sub>2</sub>,

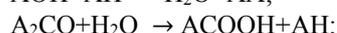
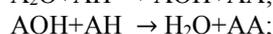
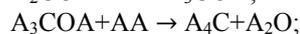
Н<sub>2</sub>О>О<sub>2</sub>>ОН>СО>Н<sub>2</sub>>О>Н>НО<sub>2</sub>>Н<sub>2</sub>О<sub>2</sub>>О<sub>3</sub>>-СО<sub>2</sub>Н;

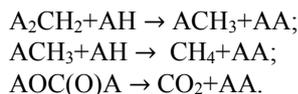
1000-1800°С, ОН>СО> Н<sub>2</sub>О.

Распределение водород и углеродсодержащих частиц показывают, что при конверсии СО водяными парами водотопливных эмульсий в конечном итоге образуются молекулярный водород и диоксид углерода. Соответственно, возможны различные варианты их формирования: без выделения воды, с промежуточным выделением воды и образованием СО<sub>2</sub> через АСООН, где А - активная частица. В связи с этим указан вариант, где карбоксильный промежуточный агент не превращается непосредственно в СО<sub>2</sub>, а участвует в частичном ацидолизе поверхностного углеродсодержащего вещества с образованием адсорбированного метана и АОС(О)А [2]:

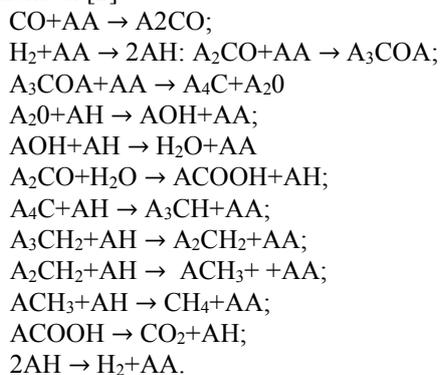


С учетом данных работы [2] можно предложить следующий механизм конверсии СО в





Показано, что при конверсии СО с водяными парами водотопливных эмульсий конечными продуктами являются СО<sub>2</sub> и Н<sub>2</sub> (рис. 1-3), соответственно механизм их образования на основе активных частиц газовой фазы можно предложить по следующим вариантам [2]:



Анализ и интерпретация полученных данных позволили установить спектр концентрационного распределения частиц в газовой фазе при

$\alpha = 1,05, H_2O = 15\%, t = 1000 - 1800^\circ C : CO_2 > H_2O > O_2 > OH > CO > H_2 > O > H > NO_2 > H_2O_2 > CO_2H$  и предложить расчетную формулу для определения содержания

оксида углерода в газовой фазе в пределах изменения температур от 1000°C до 1800°C, избытке окислителя (а) -1,02; 1,05; 1,1; 1,25, концентрации воды в газовой фазе от 3,22 до 4,45 моль/кг (Маймеков З.К., Самбаева Д.А.):

$$C_{co} = 4,35 \cdot 10^{-60} \alpha^{-76} t^{18} C_{H_2O} - 0,001, \text{ моль/кг.}$$

На основании равновесных и рабочих концентраций оксидов углерода в газовой фазе выявлен химизм конверсии СО водяными парами водотопливных эмульсий:  $O+H_2O \rightarrow 2OH; H+O_2 \rightarrow HO_2; CO+OH \rightarrow [COOH] \rightarrow HCOO; HCOO+OH \rightarrow HCOOH+OH; HCOOH \rightarrow CO+H_2O; CO+OH \rightarrow CO_2+H; CO+HO_2 \rightarrow CO_2+OH$ , и сделан вывод о том, что СО образуется на основе муравьиной кислоты (НСООН) и переходит в СО<sub>2</sub> за счет ее взаимодействия с гидроксильными и пероксидальными радикалами типа ОН и НО<sub>2</sub>.

Здесь следует отметить, что определение рабочих концентраций оксида углерода, осуществлено при сжигании жидкого топлива и водотопливных эмульсий в различных типах котлоагрегатов средней и малой мощности (Маймеков З.К., Самбаева Д.А., табл.6), где уменьшение газовых выбросов вредных веществ составило от 46 до 71%, в том числе сажи на 67%, оксида углерода - 61%, углеводородов нефти от 48,14 до 76,92 %, а оксидов серы только на 4-6%.

Таблица 6

Снижение концентрации оксида углерода в газовой фазе при сжигании водотопливных эмульсий

Котлоагрегаты	Жидкое топливо	Водотопливная эмульсия	Снижение СО в газовой фазе, %
	СО, мг/м <sup>3</sup> (т/год)	СО, мг/м <sup>3</sup> (т/год)	
ДКВР 6,5 -13	180 (30,72)	52 (8,87)	71,13
ДКВР-4/13	310(24,44)	140(11,04)	54,84
ПТВМ-30М	295 (215,56)	125 (91,64)	67,82
ДЕ- 10- 14	144 (22,18)	35 (5,39)	75,70
ДЕ-25- 14 ГМ	320 (94,10)	100(29,40)	68,75
Б-25- 15 ГМ	125 (437,08)	39(136,23)	68,83
Е - 1/9 - 1 М (2)	65 (1,70)	35(0,91)	46,27
КЕВ - 4 - 14 (2)	80,25 (5,72)	30,1(2,13)	63,0
Е - 1/9 - М (4)	72 (0,946)	37 (0,486)	48,70
ДКВР-4/13 (3)	53 (15,495)	27 (7,894)	49,05

Данные по определению концентраций СО в газовой фазе показали, что эффективность методов снижения выбросов оксида углерода в котлоагрегатах средней и малой мощности достигается при использовании жидких (Н<sub>2</sub>О) присадок к мазуту, т.е. в процессе сжигания водотопливной эмульсии.

**Условные обозначения:** удельный объем – V, м<sup>3</sup>/кг; энтропия – S, кДж/(кг·К); полная энтальпия – I, кДж/кг; полная внутренняя энергия – U, кДж/кг; число молей – μ, моль/кг; удельная теплоемкость (равновесная) - Ср', кДж/(кг·К); молярная масса газовой фазы- MMq, г/моль; газовая посгоянная-Rq, Дж/(кг·К); теплоемкость газовой фазы (равновесная)-Ср'ц, кДж/(кг·К); коэффициент динамической вязкости-Ми, Па·с; коэффициент теплопроводности - Lt, Вт/(м·К); полная теплопроводность - Lt', Вт/(м·К); число Прандтля (равновесное) -Pr'; массовая доля конденсированных фаз-z.

**Литература:**

- 1.Синярев Г.Б., Ватолин Н.А., Трусов Б.Г., Моисеев Г.К. Применение ЭВМ для термодинамических расчетов металлургических процессов-Москва: Наука,1982.
2. Темкин О.Н., Зейгарник А.В., Кузьмин А.Е., Брук Л.Г., Сливинский Е.В. Построение реакционных каталитических реакций: Синтез Фишера-Тропша и родственные реакции. - М.: Изв. РАН,2001.-№1.-С.1-34.

Рецензент: д.т.н. Татыбеков А.