

УДК 665.6.03

**ПРЕВРАЩЕНИЕ ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ ВЕЩЕСТВ ОРГАНИЧЕСКОЙ МАССЫ
УГЛЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ ВОДОРОДА В ЖИДКИЕ И ГАЗООБРАЗНЫЕ ПРОДУКТЫ****Н. Рахова, Д.А. Байсейтов, Ш.Е. Габдрашова, Д. Ешимбетова,
А. Омарова, Ж. Таласова, М.И. Тулепов**Казахский национальный университет им. аль-Фараби, пр. аль-Фараби, 71, Алматы, Казахстан
Email: Marat.Tulepov@kaznu.kz**Аннотация**

Установлено, что при одинаковом давлении и времени, продолжительности процесса изменение массового отношения донор водорода/уголь до 2:1 приводит в большинстве экспериментов к увеличению выхода жидких продуктов, уменьшению выхода асфальтенов и увеличению степени конверсии ОМУ. Показано, что в процессе гидрогенизации бурого угля в нафталине концентрат, подвергнутый мехактивированию в мельнице-активаторе с последующим диспергированием существенно увеличивают степень конверсии ОМУ в жидкие и газообразные продукты. Наиболее высокая степень конверсии угля 84,3 масс. % и выход мальтенов 55,1 масс. % были получены в присутствии механоактивированного концентрата.

Ключевые слова: уголь, концентраты, механоактивация, автоклав, гудрон

Введение

Гидрогенизация углей представляет собой сложный физико-химический процесс, в котором протекает значительное число последовательных и параллельных химических реакций превращения твердой органической массы угля (ОМУ) в газообразные, жидкие и твердые продукты. В этом процессе обычно выделяют следующие стадии: термическая деструкция макромолекулярной структуры угля с образованием радикальных фрагментов – рекомбинация этих радикалов с образованием высокомолекулярных продуктов, насыщение радикалов в результате реакций гидрирования молекулярным водородом или водородом водородно-донорного растворителя с образованием низкомолекулярных продуктов [1-3].

Уголь представляет собой самоассоциированный мультимер. Этот мультимер состоит из пространственно-структурированных блоков (олигомеров). Блоки включают макромолекулы из атомов углерода, водорода и гетероатомов (O, N, S), что является причиной неравномерного распределения электронной плотности. Вследствие этого в блоках осуществляется донорно-акцепторное взаимодействие, в т.ч. образуются водородные связи. Внутри блоков макромолекулы связаны метиленовыми, а также O-, N- и S-содержащими мостиками. Энергия разрыва этих связей в 10-15 раз больше энергии разрыва блоков. При

гидрогенизации угля в первую очередь происходит разъединение блоков. Последующая деструкция блоков требует повышенной температуры и присутствия активного H₂. Для получения из угля жидких продуктов необходимо наряду с деструкцией осуществить гидрирование образующихся низкомолекулярных непредельных соединений [4-5].

Наибольший практический интерес представляют дешевые катализаторы на основе железа (например, соли железа, железосодержащие руды и концентраты). Их применение позволяет отказаться от дорогостоящей стадии извлечения катализатора из твердого шлама процесса гидрирования угля.

Экспериментальная часть

В качестве объекта исследования для проведения процессов совместной гидрогенизации угля и полимерных материалов и исследования структуры и состава углей нами был выбран уголь месторождения Каражира.

В качестве катализаторов использовался концентрат Балхашского месторождения представляющего собой смесь пиритов и халькопиритов с общим содержанием Fe - 24%, Cu - 30%, Al - 12% и серы S - 12%.

Для проведения экспериментов смеси твердых полимерных остатков предварительно подвергали термообработке и затем совместно с углем проводили механообработку до размера частиц > 200 мкм. Полученные смеси тща-

тельно хранились с соблюдением мер предосторожности с целью предохранения от окисления, возможных источников загрязнения, которыми могут быть реактивы, атмосфера, пыль. В качестве растворителей применяли толуол, бензол, спиртобензол, нафталин, ацетон.

Эксперименты по гидрогенизации угля проводили во вращающемся автоклаве объемом 0,5 л. (рис. 1). Смесь угля, катализатора и гудрона загружали в автоклав, герметизировали и промывали аргоном для удаления воздуха. После этого закачивали в автоклав водород до 5,0 МПа и нагревали до температуры 430 °С.

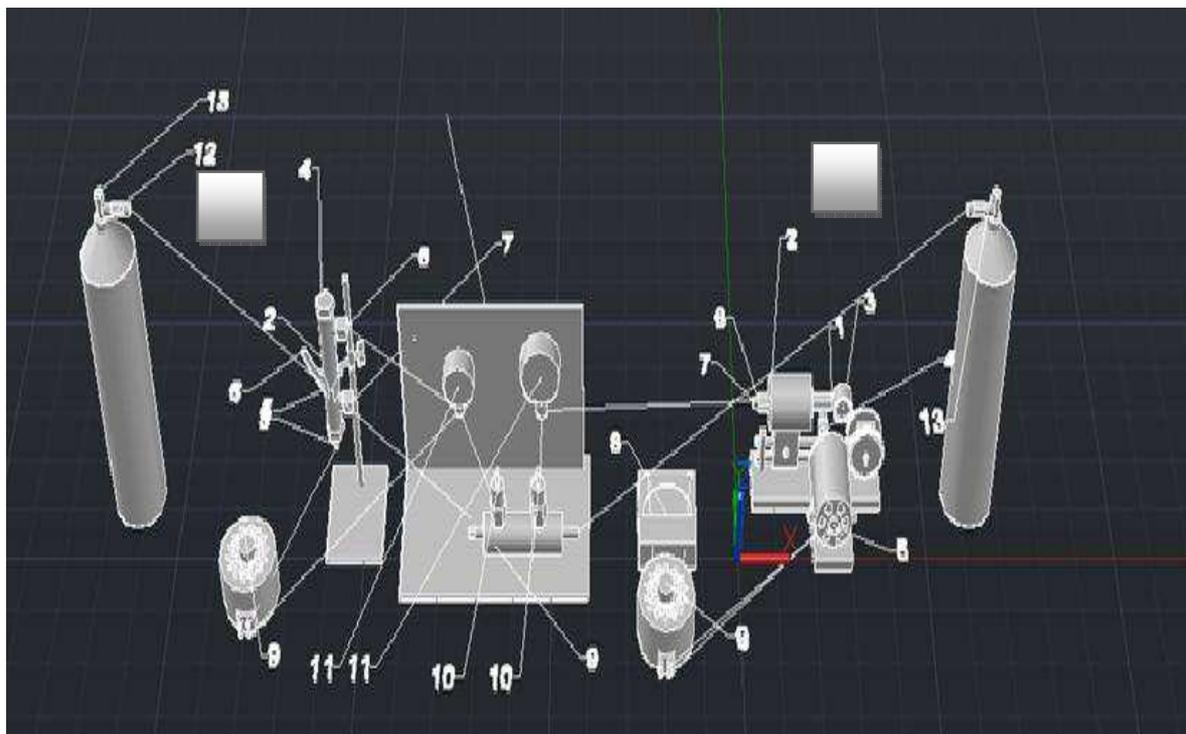


Рис. 1. Установки по гидрогенизации: 1 – реактор с вращающимся автоклавом; 2 – печь; 3 – манометр измерения давления на выходе; 4 – кран для сбора газов; 5 – стационарный реактор; 6 – втулка для измерения температуры в стационарном реакторе; 7 – термомпара для контроля температуры во вращающемся реакторе; 8 – манометры для контроля температуры; 9 – латры; 10 – краны для установления давления в реакторах; 11 – манометры для контроля давления в реакторах; 12 – редуктора для контроля потока газов; 13 – баллоны со сжатыми газами аргона и гелия.

В качестве пастообразователей были исследованы гудрон и полиэтилен. После завершения эксперимента автоклав охлаждали, выявляли объем газообразных продуктов. Состав газообразных продуктов определяли методом газовой хроматографии.

Конденсированную часть продуктов извлекали из автоклава и разделяли на мальтены, экстрагируемые гексаном, асфальтены, экстрагируемые бензолом, и твердый остаток. По количеству твердого остатка и его зольности рассчитывали степень превращения ОМУ в газообразные и жидкие продукты.

Выход мальтенов рассчитывали, как разность между степенью превращения ОМУ и выходом асфальтенов и газов.

Результаты и обсуждение

В предварительно выполненных нами работах показано, что каталитическая активность железорудных катализаторов в процессе гидрогенизации угля существенно возрастает после их механохимической активации в специальных мельницах активаторов.

Механохимическая обработка сопровождается не только дроблением металлов, но и приводит к деформированию кристаллической структуры катализаторов.

Данные РФА показывают, что при механоактивации происходит нарушение кристаллической структуры в большей степени характерно для концентратов, содержащего пирит.

В этом случае при интенсивном механическом воздействии происходят глубокие изменения, которые приводят к образованию новой кристаллической фазы-пирротита, регистрируемой методом РФА.

Анализ дериватограммы катализатора концентрата показал, что пик потери массы в модифицированном образце по сравнению с исходным смещается почти на 50 °С в область низких температур. При механообработке этого катализатора меняется и химический состав поверхности. В частности, при сухой механообработке относительное содержание железа в кристаллической фазе увеличивается, в аморфной – уменьшается. Добавка воды при механоактивировании усиливает эту тенденцию, а выдержка модифицированных катализаторов на воздухе наоборот, приводит к снижению относительного содержания серы как в аморфной, так и в кристаллической фазах. Уменьшение относительного содержания эле-

ментной серы наиболее вероятно обусловлено процессами окисления поверхности активируемого материала при его длительном хранении на воздухе. Окисление поверхности катализаторов происходит и в течение процесса механообработки.

Данные в области каталитической деполимеризации угля в жидкие углеводородные смеси показывают, что при изучении реакций гидрирования угля, установлено, что кислотные катализаторы ускоряют преимущественно разрыв С-С-связей, а гидрирующие катализаторы - разрыв С-О- связей.

Осуществлен подбор катализаторов, обеспечивающих снижение давления водорода в процессе гидрирования угля до 5-10 МПа.

Как следует из данных таблицы 1, конверсия бурого угля возрастает в 2-4 раза в присутствии активированных руд, содержащих в качестве основных кристаллических фаз гематит, магнетит, пирит, пирротин.

Таблица 1. Влияние механохимической активации на каталитические свойства рудных катализаторов в процессе гидрогенизации бурого угля при 430 °С и давлении водорода 2 МПа

Катализатор	Механохимическая обработка в смеси с концентратом в воде.	Конверсия угля, %	Выход газа, %	Выход жидких продуктов, %	
				до 180 °С	> 180 °С
Без катализатора	Исходный механоактивирован	28	11,5	6,4	38,1
		45		6,3	41,4
Концентрат	механоактивирован без механоактивации	72	11,3	7,2	66,7
		21	11,4	6,2	38,2
Fe Cl ₃	механоактивирован без механоактивации	78	10,7	8,4	62,8
		23	11,7	10,1	29,3
Fe ₂ O ₃ + S	механоактивирован без механоактивации	74	12,0	10,2	67,8
		34	11,3	9,7	40,7

Добавление серы к оксиду железа приводит к увеличению выхода жидких продуктов. По-видимому, образуется сульфид железа, который катализирует процесс конверсии органической массы угля. Аналогичное действие элементарной серы и оксида железа мы наблюдали в процессе гидрогенизации смеси угля с концентратом. Анализируя полученные данные, установили, что на реакционную способность угля оказывает минеральный состав концентрата и массовое отношение донора водорода (пастообразователя) к углю и каталитическая активность оксида железа с элементарной серой.

Таким образом, каталитические добавки на основе оксида железа с добавлением серы позволяют проводить процесс гидрогенизации

угля в присутствии донора водорода с высоким выходом низкомолекулярных веществ

Далее исследовали уголь Каражирского месторождения, гидрогенизацию проводили при температуре 400 °С, в качестве каталитической добавки использовали Балхашский концентрат (БК). Масса угля составила 30 г. В данном эксперименте изучали влияние давления, изменение массового отношения донор водорода (тетралин)/уголь (Т/У) и продолжительности процесса гидрогенизации на выход жидких продуктов, асфальтенов, преасфальтенов и степень конверсии ОМУ. В таблице 4 приведены условия гидрогенизации.

Анализируя полученные данные в таблице 2, видно, что при использовании тетралина к углю в соотношении 1:1 по массе при изменении времени продолжительности процесса (с

40 до 60 мин), выход жидких продуктов увеличился почти на 6 %, выход преасфальтенов увеличился почти на 4%, выход асфальтенов снизился на 3 %, степень конверсии изменилась в большую сторону (опыт 2). Изменение

начального давления до 6,0 МПа привело к росту выхода масла на 13 %, преасфальтенов на 2,2 %, увеличению степени конверсии на 8 %, выход асфальтенов снизился на 5 % (опыт 3).

Таблица 2. Условия проведения гидрогенизации угля месторождения Каражира и выход продуктов, полученных в процессе гидрогенизации

Условия проведения гидрогенизации				Выход продуктов, %				Конверсия ОМУ, %
№ опыта	Тетралин/ Уголь	τ , мин	P_{H_2} , МПа	Жидкие продукты	Асфальтены	Преасфальтены	Твердые продукты	
1	1:1	40	3,0	30,7	20,6	1,7	30,8	70,2
2	1:1	60	3,0	36,2	17,3	5,1	31,0	72,0
3	1:1	40	5,0	45,0	17,6	3,9	22,8	78,2
4	1:1	60	5,0	54,0	12,2	6,9	20,8	81,2
5	2:1	40	3,0	52,3	5,10	4,0	18,2	81,0
6	2:1	60	3,0	55,3	8,50	1,3	19,2	81,7
7	2:1	40	5,0	54,4	9,20	7,8	18,5	80,4
8	2:1	60	5,0	56,2	10,7	2,6	15,6	83,1

Увеличение времени до 60 минут и давления до 6,0 МПа приводит к еще большему выходу жидких продуктов до 53 %, снижению выхода асфальтенов, увеличению выхода преасфальтенов, степень конверсии ОМУ также увеличилась (опыт 4). При использовании донора водорода в 2 раза больше по массе, чем угля, при начальном давлении 3,0 МПа, но при разной продолжительности процесса получили почти одинаковые выходы жидких продуктов и степень конверсии ОМУ; однако выход асфальтенов увеличился, а выход преасфальтенов уменьшился при увеличении времени.

Изменение давления до 5,0 МПа привело к уменьшению выхода жидких продуктов, но выход асфальтенов, преасфальтенов и степень превращения увеличились. Увеличение продолжительности процесса при 5,0 МПа привело к увеличению выхода масла, преасфальтенов и степени конверсии, выход преасфальтенов уменьшился с 8,1 до 2,6 %.

Следующий этап экспериментов проводили при тех же макрокинетических условиях, масса угля составила 20 г, масса катализатора БК – 4 г (2 %), реакцию проводили при температуре 400 °С, однако в качестве донора водорода использовали смесь полиэтилена и гудрона (ПГ) с углем, полученные результаты гидрогенизации приведены в таблице 5.

Гидрогенизация угля при давлении 4 МПа, массовом соотношении ПГ/У 1:1 и продолжительностью 40 мин дает выход жидких продуктов 37,1 %, асфальтенов – 14,8 %, преасфальтенов – 1,8 %; конверсия ОМУ составила 71,7 % (опыт 1 в табл. 3). При использовании смеси гудрона с полимером в 2 раза больше угля по массе при прочих одинаковых условиях процесса выход жидких продуктов уменьшился до 26,5 %, выход асфальтенов также снизился, а вот выход преасфальтенов увеличился до 7,9 %. Степень конверсии ОМУ практически не изменилась (опыт 2).

В опыте 3 относительно опыта 1 выход масла значительно уменьшился, а количество асфальтена увеличилось до 32,8 %; превращение угля уменьшилось на 10 %. В опыте 4 изменив массовое отношение донор водорода/уголь (таблица 5), увеличился выход жидких продуктов, выход асфальтенов значительно уменьшился, выход преасфальтенов уменьшился незначительно, степень конверсии ОМУ увеличилась на 6 %. Далее рассмотрим результаты гидрогенизации, проведенной при давлении 6,0 МПа. При продолжительности процесса 45 мин и ПГ/У = 1:1, получили небольшой выход жидких продуктов (18,9 %), почти столько же получилось асфальтенов (18,9 %), выход преасфальтенов составил 9,0 %, степень конверсии ОМУ – 67,6 % (опыт 5).

Таблица 3. Условия проведения гидрогенизации угля и выход продуктов, полученных в процессе гидрогенизации

Условия проведения гидрогенизации				Выход продуктов, %				Конверсия ОМУ, %
№ опыта	ПГ/У	τ, мин	РН ₂ , МПа	Жидкие продукты	Асфальтены	Преасфальтены	Твердые продукты	
1	1:1	40	4,0	37,1	14,8	1,8	28,1	71,7
2	2:1	50	4,0	26,5	11,0	7,9	29,0	71,1
3	1:1	40	5,0	13,8	32,8	5,3	37,9	62,0
4	2:1	50	5,0	23,0	5,1	1,4	32,1	68,1
5	1:1	45	6,0	18,9	18,9	9,0	32,2	67,6
6	2:1	50	4,0	32,5	10,9	11,9	24,0	75,2
7	2:1	40	5,0	28,0	6,5	7,8	25,5	73,5
8	2:1	50	5,0	33,3	14,0	5,5	24,3	74,9

Увеличение содержания гудрона и полиэтилена в исходной смеси привело к увеличению выхода жидких продуктов до 32,5 %, преасфальтенов до 11,9 %, степени конверсии ОМУ до 75,2 % и уменьшению выхода асфальтенов до 11,9 % (опыт б).

Данные опытов показывают, что увеличение содержания оксида железа до 2% в каталитической добавке приводит к увеличению выхода жидких продуктов, однако дальнейшее добавление оксида железа ведет к снижению выхода масла.

Таким образом, при одинаковом давлении и времени, продолжительности процесса изменение массового отношения донор водоро-

да/уголь до 2:1 приводит в большинстве экспериментов к увеличению выхода жидких продуктов, уменьшению выхода асфальтенов и увеличению степени конверсии ОМУ. Гидрогенизация угля в присутствии концентрата и большем массовом отношении донор водорода/уголь также дает больший выход жидких продуктов, большую степень конверсии ОМУ и меньший выход асфальтенов.

В процессе гидрогенизации угля в лигнине и в уголь-нефтяные остатки, обладающими водородно-донорными свойствами, исследуемые катализаторы значительно увеличивают степень конверсии ОМУ (табл.4).

Таблица 4. Показатели гидрогенизации бурого угля в среде угля в лигнине и в уголь-нефтяные остатки

Состав	Степень конверсии ОМУ, масс. %	Выход ³ мальтенов масс. %	Выход асфальтенов масс. %	Потребление газообразного водорода, %
Уголь: нефтяные остатки 1:1	54,5	32,2	2,8	<0,5
Уголь: лигнин 1:1	68,1	42,2	6,2	<0,5
Уголь: лигнин 1:1 + мехактивированный концентрат, диспергированный в угле	77,5	52,4	3,4	2,1
Уголь: нефтяные остатки 1:1 + мехактивированный концентрат, диспергированный в угле	84,3	55,1	9,1	2,4

Наиболее высокие показатели степени конверсии угля (84,3 масс. %) и выхода жидких продуктов (55,1 масс. %) наблюдались в присутствии механоактивированного катализатора, нанесенного в высокодисперсной форме на уголь и нефтяных остатков в соотношении 1:1.

Этот факт может быть объяснен тем, что дегидрирование нефтяных остатков в присутствии угля протекает в результате его взаимодействия с ОМУ или продуктами ее термической деструкции. Исследуемые концентраты катализаторы ускоряют гидрирование нефтяных остатков молекулярным водородом.

Таблица 5. Выход продуктов реакции при гидрогенизации угля в присутствии нефтяных остатков по данным газовой хроматографии

С группа	Парафины	Изопарафины	Ароматика	Нафтены	Олефины	Итого
3	0,0625	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0625
4	2,617	0,802	0,0	0,0	1,488	4,907
5	3,723	9,359	0,0	0,267	3,070	16,419
6	3,534	11,100	2,623	1,279	1,848	20,384
7	2,215	7,878	9,631	1,527	1,105	22,356
8	0,986	3,615	11,633	1,320	0,157	17,712
9	0,285	1,651	8,420	0,496	0,0	10,852
10	0,119	0,573	3,543	0,038	0,023	4,295
11	0,057	0,145	0,997	0,029	0,0	1,229
12	0,040	0,019	0,333	0,0	0,0	0,393
13	0,003	0,0	0,0	0,0	0,0	0,003
14	0,011	0,0	0,0	0,0	0,0	0,011
Итого	13,656	35,142	37,181	4,955	7,691	98,623

По данным газовой хроматографии (таблица 5) газообразные продукты гидрогенизации угля представлены в основном парафинами, изопарафинами, ароматикой, нафтенами, олефинами, а также оксидами углерода, содержание углеводородных газов C₁-C₄ не превышало 20 об. %.

В процессе гидрогенизации происходит потребление молекулярного водорода углем.

Установлено, что в присутствии концентрата потребление углем, газообразного водорода составило – 2,1-2,4 % от ОМУ.

В процессе гидрогенизации угля тип растворителя оказывает существенное влияние на степень конверсии ОМУ и выход продуктов (табл. 6).

Таблица 6. Показатели гидрогенизации бурого угля в среде нафталина

Катализатор	Степень конверсии ОМУ, масс. %	Выход мальтенов, масс. %	Выход асфальтенов, масс. %
Уголь: нафталин 1:1 без катализатора	38,2	14,1	8,7
Уголь: нафталин 1:1 в присутствии FeCl ₃ , диспергированного в угле	53,6	32,1	3,6
Уголь: нафталин 1:1 в присутствии механоактивированного концентрата, диспергированного в угле	65,1	45,1	3,1

В среде нафталина, растворителя, обладающего примерно одинаковой с тетралином способностью растворять продукты гидрогенизации угля, но не обладающего водородно-донорными свойствами, степень конверсии ОМУ существенно ниже аналогичных показателей, полученных в среде тетралина. Было установлено, что дегидрирование нафталина в выбранных условиях не протекает. Вероятно, в этом случае нафталин проявляет себя как акцептор водорода. По данным хромато-масс-спектрометрии примерно 8 мол. % нафталина превращается в свои частично гидрированные производные. Таким образом, различие в показателях некаталитического превращения угля в

среде тетралина и нафталина характеризует вклад водородно-донорных свойств растворителя в суммарный процесс.

В среде нафталина добавление исследуемых катализаторов к углю приводит к увеличению степени конверсии ОМУ и выхода мальтенов. Наиболее вероятно, что в этом случае каталитический эффект вызван прямым гидрированием ОМУ и продуктов ее деструкции молекулярным водородом на поверхности катализатора. Наибольшее увеличение степени конверсии угля в 1,2 раза наблюдалось в присутствии гематитового катализатора.

Под действием исследуемых катализаторов происходит резкое, в 1,7 раза (с 38,2 без

катализатора до 65,1 масс. %), увеличение степени конверсии ОМУ и выхода мальтенов. Это объясняется тем, что под действием катализаторов интенсивно протекает гидрирование нафталина в тетралин, т.е. в реакционной среде появляется водородно-донорный растворитель. Таким образом, этот эффект характеризует совокупный вклад реакций прямого гидрирования ОМУ и продуктов ее деструкции молекулярным водородом и непрямого гидрирования через стадию образования водородно-донорного растворителя.

Представленные результаты показывают, что в процессе гидрогенизации угля в нафталине переходящем в тетралин действие исследуемых катализаторов заключается как в ускорении реакций восстановления водородно-донорных свойств растворителя (гидрирования нафталина в тетралин), так и в ускорении реакций гидрирования продуктов превращения ОМУ молекулярным водородом. Более высокие показатели по степени конверсии и выходу жидких продуктов, наблюдаемые в гидрогенизации угля в присутствии концентратов катализаторов, вероятно, вызваны более высокой его эффективностью в процессах гидрирования молекулярным водородом, по сравнению с хлоридом железа (III).

Таким образом, в процессе гидрогенизации бурого угля в нафталине концентрат, подвергнутый мехактивированию в мельнице-активаторе с последующим диспергированием

существенно увеличивают степень конверсии ОМУ в жидкие и газообразные продукты. Наиболее высокая степень конверсии угля 84,3 масс. % и выход мальтенов 55,1 масс. % были получены в присутствии механоактивированного концентрата. В процессе гидрогенизации угля в нафталине железосодержащие катализаторы ускоряют как реакции прямого гидрирования угля и продуктов его деструкции молекулярным водородом, так и гидрирование (восстановление водородно-донорных свойств) дегидрированного водородно-донорного растворителя.

Литература

- 1 Каирбеков Ж.К. Катализаторы гидрогенизации углей на основе сернистых соединений железа и других металлов // Вестник КазГУ. Сер. хим. – 2000. – № 1. – С. 26-33.
- 2 Кричко А.А. Гидрогенизация угля СССР – М.: ЦНИИЭИ уголь, 1984. – 110 с.
- 3 Малолетнев А.С. Получение синтетического жидкого топлива гидрогенизации углей. – М.: Недра, 1992. – 128 с.
- 4 Байкенов М.И., Хрупов В.А., Жубанов К. А. Синтетические продукты из твердого углеродсодержащего сырья. – Караганды: Изд-во КарГУ, 2004. – 126 с.
- 5 Ахметов С.А., Технология глубокой переработки нефти и газа. – Уфа:Гилем, 2002. – 672 с.

THE TRANSFORMATION OF HIGH-MOLECULAR SUBSTANCES OF ORGANIC MASS OF COAL UNDER PRESSURIZED HYDROGEN IN LIQUID AND GASEOUS PRODUCTS

N. Rahova, D.A. Baiseitov, Sh.E. Gabdrashova, D. Eshimbetova,
A. Omarova, J. Talasova, M.I. Tulepov

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty
Marat.Tulepov@kaznu.kz

Abstract

It is ascertained that when the same pressure and time duration of the process, changing the mass of the hydrogen donor relations/charcoal to 2:1 leads in most experiments to increase the release of liquid products, reducing the release of asphaltenes and increase the conversion of OMC. It is shown that in the process of hydrogenation of brown coal in naftaline concentrate, subjected to mechanical activation in the mill-Activator with subsequent dispersion significantly increase the degree of conversion of OMC in liquid and gaseous products. The highest degree of coal conversion 84.3 masses. % and output maltenov 55.1 masses. % were obtained in the presence of mechanical activated concentrate.

Keywords: coal, concentrates, mechanical activation, autoclave, tar

КӨМІРДІҢ ОРГАНИКАЛЫҚ МАССАСЫНЫҢ ЖОҒАРЫ МОЛЕКУЛАЛЫҚ ЗАТТАРЫН СУТЕГІ СҰЙЫҚ ЖӘНЕ ГАЗ ТӘРІЗДІ ӨНІМДЕРГЕ ҚЫСЫММЕН ТҮРЛЕНДІРУ

Н. Рахова, Д.А. Байсейтов, Ш.Е. Габдрашова, Д. Ешимбетова,
А. Омарова, Ж. Таласова, М.И. Тулепов

Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы
Marat.Tulepov@kaznu.kz

Аннотация

Орнатылды, сол қысыммен және уақытпен, сутектік донор/көмірдің 2:1 массалық қатынасын өзгерту процесінің ұзақтығы сұйық өнімдердің кірістілігінің артуына көптеген эксперименттерде әкеледі, асфальтендердің кірістілігінің төмендеуі және ҚОМ түрлендіру дәрежесінің артуы.

Көрсетілген, қоңыр көмірді нафталиннен гидрогенизациялау процесінде концентрат, механикалық активтендірілген және дисперсияға ұшырағаннан кейін, ҚОМ-нің сұйық және газ тәрізді өнімдерге айналу деңгейін айтарлықтай арттырады. Көмірді 84,3 мас.%-ға дейін қайта өңдеудің ең жоғары дәрежесі және мальтиндердің өнімділігі 55,1 мас. % механикалық белсендірілген концентраттың қатысуымен алынған.

Түйінді сөздер: көмір, концентраттар, механоактивациясы, автоклав, гудрон