

Таблица 1. Результаты гидрогенизации угля (давление 5,0 МПа, $\tau = 15$ мин, соотношение уголь : нефтяной пастообразователь = 1 : 1, реактор высокого давления)

Показатели процесса	Температура, °С	Суммарный выход гидрогенизата, %	Газ + H ₂ O, % (мас.)	Потери, % (мас.)
Без катализатора	300	26,0	39,0	35,0
	350	29,7	38,1	32,2
	400	35,1	30,5	34,1
0,05 % Mo	300	47,8	36,0	16,2
	350	51,7	28,1	10,2
	400	65,1	17,8	17,1

Таблица 2. Компонентный состав гидрогенизата шубаркольского угля

Показатели, % (мас.)	Количество	Методика испытания
Органическая часть	~ 60,0	ГОСТ 12801
Минеральная часть	39,5	

Таблица 3. Результаты физико-механических испытаний битумов

Показатели	С добавлением серы, %		
	10	15	20
Пенетрация при 25 °С; 0,1 мм	56	66	90
Температура размягчения по К и Ш, °С	28	48	50
Температура хрупкости (по Фраасу), °С	-15	-14	-11

Примечание. ГОСТ 22245–90. Битумы нефтяные дорожные вязкие.

сторождения Кумколь (Республика Казахстан), взятых в соотношении 1 : 1. Нефтяной остаток (Н-донор) имел следующие характеристики: плотность при 20 °С 0,8077 г/см³; вязкость 9,69 мм²/с; содержание, % (мас.): парафины 14,73; асфальтены 1,52; смолы 8,2; элементный состав, % (мас.): С 83,85; Н 11,27; S 1,81; N 0,80; O 2,27.

Гидрогенизацию угля Шубарколского месторождения проводили в реакторе Batch Reactor – Part 4848. Допустимое давление – до 7 МПа, а допустимая температура в реакторе – до 500 °С. Смесь смолы с катализатором, нагретую до 70–80 °С, загружали в реактор, который предварительно продували аргоном и заполняли водородом при начальном давлении 2–3 МПа. Рабочее давление 5,0 МПа, температура 350–400 °С, время реакции 5–15 мин. Результаты гидрогенизации смолы приведены в табл. 1, в которой показано, что суммарный выход гидрогенизата в присутствии молибденового катализатора со-

ставил максимально 65,1 % при температуре 400 °С. По результатам высокотемпературной гидрогенизации Шубаркольского угля установлено, что 5 МПа и 400 °С – оптимальные технологические параметры осуществления глубокой переработки угля.

Разделения органической и минеральной части гидрогенизата угля проводили методом непрерывной экстракции на аппарате Сокслета. В качестве растворителя использовали смесь спирта и бензола в соотношениях 2 : 8. Компонентный состав гидрогенизата шубаркольского угля приведен в табл. 2.

Как видно из табл. 2, содержание органической части в гидрогенизате составляет 60 % (мас.), минеральной части – 39,5 % (мас.). В дальнейшем органическую часть использовали для получения битума.

В ходе исследования с целью изучения влияния элементарной серы на физико-механические свойства битума провели серию экспериментов. Образцы серобитума были получены компаундированием при определенных режимах нагрева фиксированной навески серы в количестве 10, 15 и 20 % (мас.) с органической частью гидрогенизата угля. В разогретый образец вносили порцию серы, после чего массу нагревали до 140 °С и при постоянном перемешивании механической мешалкой выдерживали 40 мин.

Для полученных образцов были определены физико-механические характеристики (табл. 3).

Показано, что оптимальной следует считать добавку серы в количестве до 15 %. При более высоких концентрациях (> 20 %) сера является структурообразующей добавкой, повышающей вязкость, несколько понижающей трещино-