

УДК 665.637

ПОДГОТОВКА СЫРЬЯ БИТУМНОГО ПРОИЗВОДСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВАКУУМНОГО ОСТАТКА УСТАНОВКИ ВИСБРЕКИНГА

Евдокимова Н.Г., Грызина Е.В., Ялиева Э.А.
Филиал Уфимского государственного нефтяного
технического университета в г. Салавате
e-mail: ruskih1@rambler.ru

А.А. Гуреев
Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина
г. Москва, e-mail: a.gureev@mail.ru

Аннотация. Рассмотрена подготовка сырья битумного производства методом компаундирования с вакуумным остатком висбрекинга для битумной установки, работающей по схеме «окисление-компаундирование». Определена область активированного состояния сырья диэлектрическим и фотоколориметрическими методами. Установлена эффективность процесса окисления активированного сырья. Показана возможность регулирования областей структурных переходов в процессе окисления и качества получаемого глубокоокисленного битума вакуумным остатком висбрекинга. Предложены рекомендации для получения нефтяных дорожных битумов по технологии «окисление-компаундирование» для битумной установки в ОАО «Газпром нефтехим Салават».

Ключевые слова: активированное состояние, диэлектрическая проницаемость, компаундирование, окисление, остаток висбрекинга, полиэкстремальные зависимости, регулирование свойств сырья, структурный переход, сырье битумов, фотоколориметрический метод

Битумы, используемые при строительстве и ремонте асфальтобетонных дорожных покрытий, сегодня производят в основном по технологии окисления нефтяных остатков кислородом воздуха при повышенной температуре. На некоторых предприятиях нефтяные битумы получают по технологии компаундирования, основанной на смешении глубокоокисленного битума с тяжелыми нефтяными остатками (метод «окисление-компаундирование») [1 - 3]. В ОАО «Газпром нефтехим Салават» реализована такая технология. Она позволяет несколько повысить эффективность производства и улучшить свойства нефтяных битумов. Сырьем установки являются гудроны смесей западносибирских нефтей, которые содержат в своем составе недостаточное количество наиболее желательных для производства битумов ароматических углеводородов и смолисто-асфальтеновых веществ (САВ). И как показал опыт эксплуатации установки, качество получаемых нефтяных битумов, как на стадии окисления, так и на стадии компаундирования не всегда соответствует предъявляемым требованиям.

Известно, что для улучшения качества сырья битумного производства (гудрона) целесообразно вводить в него тяжелые ароматические и смолисто-асфальтеновые концентраты и остатки нефтепереработки и нефтехимии, например: экстракты селективной очистки масел, деасфальтизаты, тяжелую смолу пиролиза, висбрекинг-остатки. В частности применение висбрекинг-остатка при производстве остаточных, окисленных и компаундированных битумов рассматривалось в разное время многими исследователями [4 - 7]. При его использовании, как правило, получают дорожные вязкие битумы 1-го поколения марок БН, однако сбыт битума БН затруднен из-за повсеместного вытеснения его более качественными битумами 2-ого поколения марок БНД [4, 8]. На наш взгляд, актуальным направлением оптимизации качества сырья битумного производства является использование не висбрекинг-остатка, а его вакуумного остатка. Он позволит расширить сырьевую базу битумной установки, оптимизировать содержание САВ и ароматических углеводородов в сырье, повысить эффективность битумного производства, а также технико-экономические показатели установки висбрекинга с вакуумной перегонкой висбрекинг-остатка. Поэтому ключевой целью исследований в данной работе стало использование вакуумного остатка висбрекинга (далее «остаток висбрекинга») в качестве компонента сырья для установки по производству битумов, работающей по схеме «окисление - компаундирование».

Компаундирование, как метод подготовки сырья, является эффективным способом повышения стабильности фракционного и группового углеводородного состава сырья битумного производства. Однако, на многих НПЗ [9] подход к технологиям компаундирования сырья основан, главным образом, на необходимости утилизации отходов производств, а не на обеспечении оптимального его состава. Это приводит к получению нефтяных дорожных битумов, не удовлетворяющих требованиям ГОСТ 22245-90 по одному или нескольким показателям. Поэтому только научно-обоснованный подход к методам компаундирования в процессах производства нефтяных битумов, основанный на положениях физико-химической механики нефтяных дисперсных систем, позволяет добиться положительных результатов, как на стадии подготовки сырья, так и на стадии получения готовой продукции.

На эффективность битумного производства наряду с таким важным показателем как групповой углеводородный состав сырья оказывают структурно-механические и физико-химические свойства сырья как нефтяной дисперсной системы (НДС). Между дисперсностью и макросвойствами НДС существует взаимосвязь, которая очень часто выражается полиэкстремальными зависимостями. Такие зависимости позволяют выявить активированное состояние системы и подобрать оптимальные сочетания внешних воздействий для регулирования свойств НДС. Основной целью регулирования в битумном производстве является подготовка сырья для более эффективного проведения технологического процесса окисления,

а также для создания нефтепродуктов (битумных материалов) заданного качества. Сюняевым З.И. и последователями его школы установлено, что технологические процессы необходимо реализовывать при оптимальных размерах частиц дисперсной фазы, т.е. в критических (активных) состояниях системы.

Для производства глубокоокисленного битума на стадии окисления и получения затем на его основе компаундированных битумов дорожных марок, в работе были использованы гудрон из смеси западносибирских нефтей, полученный атмосферно-вакуумной перегонкой нефти на установках АВТ, и вакуумный остаток той же смеси с установки висбрекинга ОАО «Газпром нефтехим Салават». Основные показатели качества остатков приведены в табл. 1.

Таблица 1. Показатели качества остатков

Показатели качества	Гудрон смеси западносибирских нефтей	Вакуумный остаток висбрекинга
Температура размягчения по кольцу и шару, °С	25	17
Вязкость условная при 80 °С, ВУ ₅ ⁸⁰ , с	40,7	18
Температурой вспышки, °С	230	267
Относительная плотность, ρ ₄ ²⁰	0,983	1,011
Содержание серы, % мас.	2,25	2,11
Коксуемость, % мас.	17,2	18,1

На рис. 1 показаны результаты определения их группового углеводородного состава.

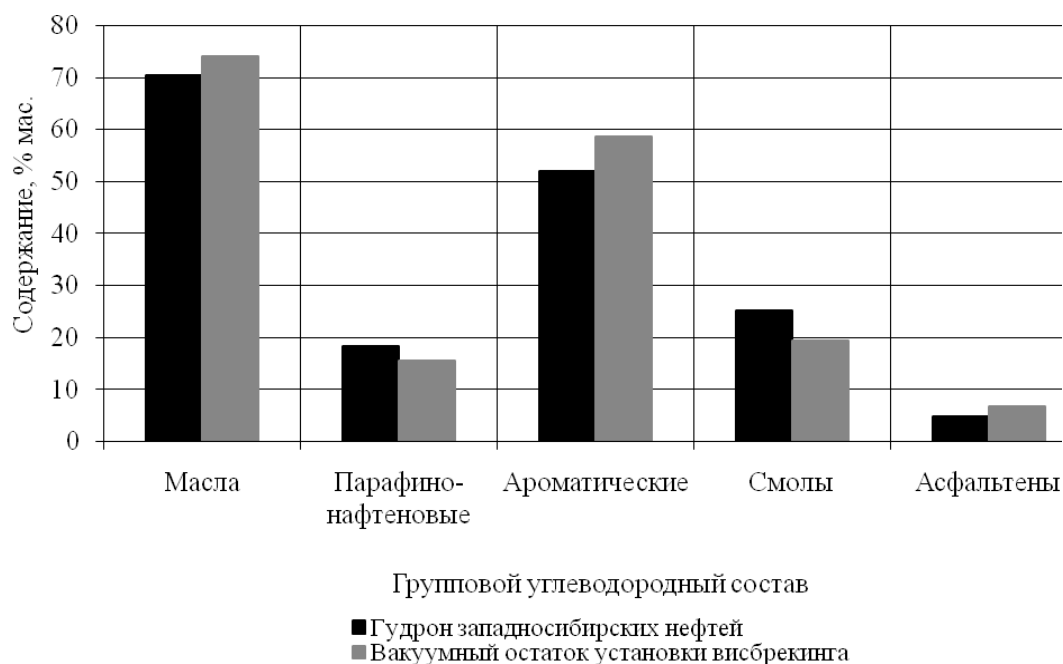


Рис. 1. Групповой углеводородный состав остатков

Групповой углеводородный состав сырья определяет как качество получаемого окисленного битума, так и интенсивность его окисления. Остаток висбрекинга в своем составе имеет больше асфальтенов и масел, в которых преобладают ароматические углеводороды. Также он характеризуется более низкими значениями условной вязкости и температуры размягчения по сравнению с гудроном АВТ. Строение и структура масляных компонентов, смол и асфальтенов остатка висбрекинга и гудрона АВТ различны, т.к. они получены по разным технологиям. Поэтому первым этапом работы стало исследование влияния остатка висбрекинга на качество сырья битумного производства и интенсивность процесса его окисления.

Для исследований использовались образцы сырья, состоящие из смеси гудрона АВТ и остатка висбрекинга в различных соотношениях. Структурную характеристику сырья можно выразить коэффициентом дисперсности по Тракслеру и соотношением смол к маслам [10]. С увеличением дисперсности система будет характеризоваться хорошей диспергируемостью асфальтенов и стремиться к устойчивости, а с уменьшением соотношения смол к маслам интенсивнее будут образовываться асфальтены в процессе окисления. На рис. 2 показан характер изменения дисперсности и соотношения смол к маслам сырья от содержания остатка висбрекинга в нем. Показано, что дисперсность сырья увеличивается, а соотношение смол к маслам снижается. Следовательно, можно предположить, что с увеличением содержания остатка висбрекинга в сырье будет наблюдаться более интенсивное образование асфальтенов и увеличение скорости процесса окисления.

Для выбора оптимального содержания остатка висбрекинга в сырье, т.е. определения его активного состояния были исследованы зависимости изменений значений температуры размягчения, диэлектрической проницаемости и диаметра частиц дисперсной фазы от содержания остатка висбрекинга в сырье (рис. 3). Диэлектрическую проницаемость для сырьевых образцов определяли при температуре 100 °С, когда в системе закончился структурно-фазовый переход в свободно-дисперсное состояние, а диаметр частиц дисперсной фазы был определен фотокориметрическим методом [11].

Установлено, что при увеличении содержания остатка висбрекинга в сырье наблюдается снижение температуры размягчения и увеличение значений диэлектрической проницаемости. Изменение размера частиц дисперсной фазы смесового сырья носит полиэкстремальный характер, где в диапазоне концентраций остатка висбрекинга в сырье 20 - 30 % масс. наблюдается минимум этой характеристики. Внешнее воздействие (введение в гудрон АВТ остатка висбрекинга) за счет различной природы асфальтенов и смол компонентов сырья изменяет баланс сил межмолекулярных взаимодействий между дисперсной фазой и дисперсионной средой, что ведет к изменению размеров частиц дисперсной фазы и электрической проводимости всей системы.

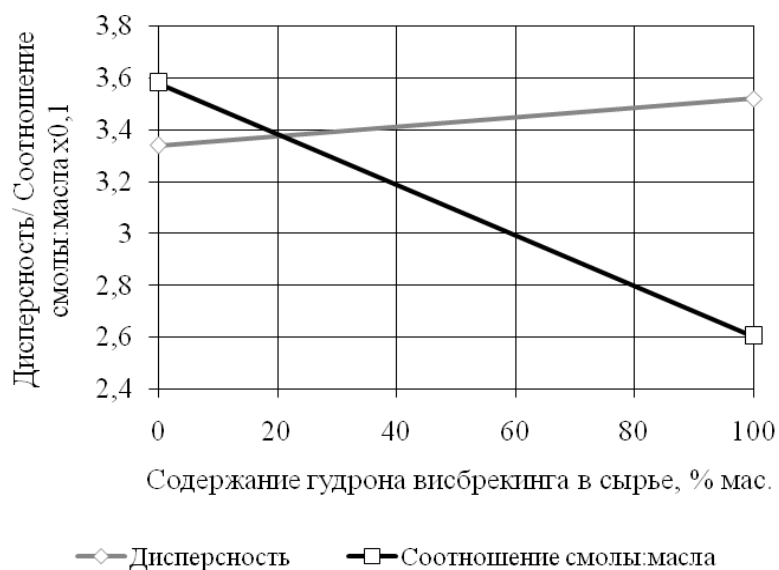


Рис. 2. Изменение дисперсности и соотношения смол к асфальтенами от содержания остатка висбрекинга в сырье

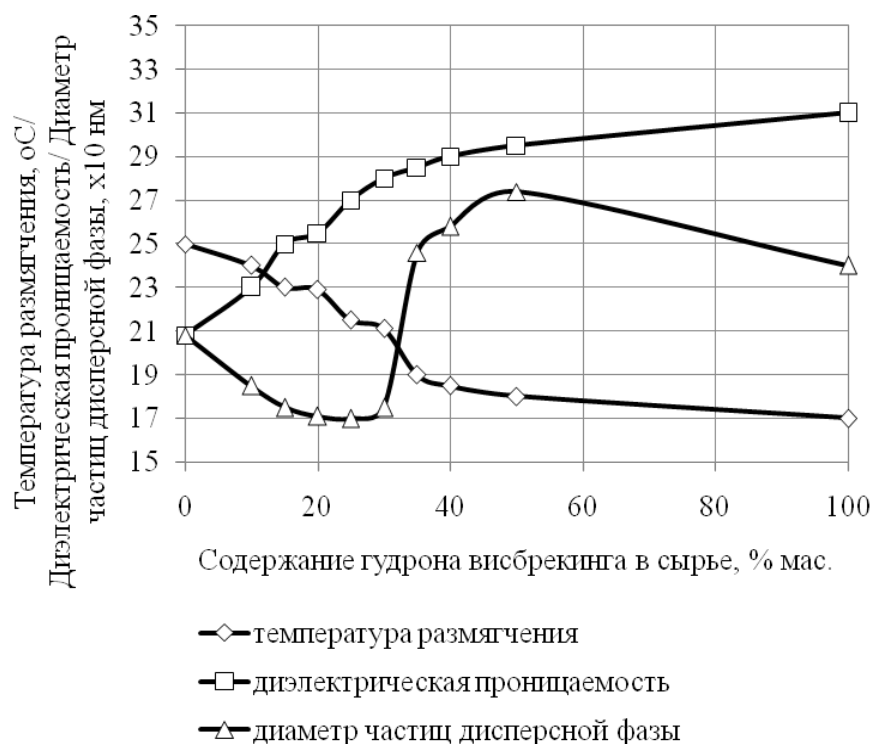


Рис. 3. Зависимости значений температуры размягчения, диэлектрической проницаемости и диаметра частиц дисперсной фазы от содержания остатка висбрекинга в сырье

На рис. 4 показаны зависимости активности смесового сырья и эффективности процесса окисления от содержания остатка висбрекинга в сырье. Активность системы была определена как отношение разности значений диэлектрической проницаемости и разности значений фактора устойчивости после и до активирования на содержание остатка висбрекинга в сырье [12]. Использовали данные свойства сырья, т.к. электрофизические параметры достаточно чувствительны к структурным изменениям и могут служить индикатором структурных переходов в нефтяных дисперсных системах [13], а изменение сил межмолекулярного взаимодействия между дисперсной фазой и дисперсионной средой удобно оценивать по кинетической устойчивости, которую можно характеризовать фактором устойчивости. Фактор устойчивости определяли как отношение оптической плотности верхнего и нижнего слоев растворов сырья в растворителе после центрифугирования [11].



Рис. 4. Зависимости активности смесового сырья и эффективности процесса окисления от содержания остатка висбрекинга в сырье

Процесс окисления смесового сырья в битум (глубокоокисленный битум) до температуры размягчения 58 °С проводили на лабораторной установке при прочих равных условиях. Эффективность процесса окисления определили как отношение констант скоростей реакций окисления [10]. Из рис. 4 видно, что в обла-

сти активированного состояния сырья при содержании остатка висбрекинга в нем 25 - 30 % масс. наблюдается максимальная эффективность процесса окисления.

Вторым этапом работы стало исследование процесса окисления активированного сырья. Наряду с определением значений температуры размягчения в процессе окисления, каждые 30 минут проводили измерения диэлектрической проницаемости непосредственно в объеме окисляемого сырья [11]. На рис. 5 показаны зависимости изменения значений диэлектрической проницаемости сырья, активированного остатком висбрекинга, от температуры размягчения продукта в процессе окисления. Зависимости носят экстремальный характер, за исключением зависимости, полученной при окислении гудрона АВТ, и могут быть описаны уравнениями вида

$$\varepsilon = a \cdot t_{\text{разм}}^3 + b \cdot t_{\text{разм}}^2 + c \cdot t_{\text{разм}} + d.$$

Видимо в процессе окисления в области максимальных значений диэлектрической проницаемости происходит структурный переход системы из свободнодисперсного в связнодисперсное состояние. Термоокислительные превращения в данной области связаны с интенсивным протеканием реакций окислительного дегидрирования. В результате чего происходят значительные изменения компонентного состава и электрофизических свойств сырья. Последующее увеличение значений температуры размягчения связано с реакциями окислительной полимеризации и поликонденсации, которые определяют скорость образования асфальтенов. По-видимому, чем ниже значения температура размягчения в области структурного перехода при окислении сырья, тем значительнее доля асфальтенов в конечном продукте. В итоге, доля асфальтенов в полученных окисленных битумах одинаковой температуры размягчения будет в наибольшей степени определять коллоидную структуру и свойства, в частности пенетрацию, битума.

По зависимостям, показанным на рис. 5, были определены значения температуры размягчения и диэлектрической проницаемости в области структурных переходов.

На рис. 6 показаны зависимости параметров структурных переходов и значений пенетрации при 25 °С глубокоокисленного битума (с температурой размягчения 58 °С) от содержания остатка висбрекинга в сырье. Из рис. 6 видно, что с увеличением содержания остатка висбрекинга в сырье происходит смещение структурного перехода в область максимальных значений диэлектрической проницаемости и минимальных значений температуры размягчения и пенетрации. Однако в области содержания 30 % масс. остатка висбрекинга в сырье наблюдается экстремальные значения данных показателей. Глубокоокисленный битум полученный окислением активированного сырья остатком висбрекинга в количестве 30 % масс. имеет наилучшие пластичные свойства и, по-видимому, будет наиболее пригодным для дальнейшего его использования на стадии «компаундирование» с целью получения дорожных битумов стандартных марок.

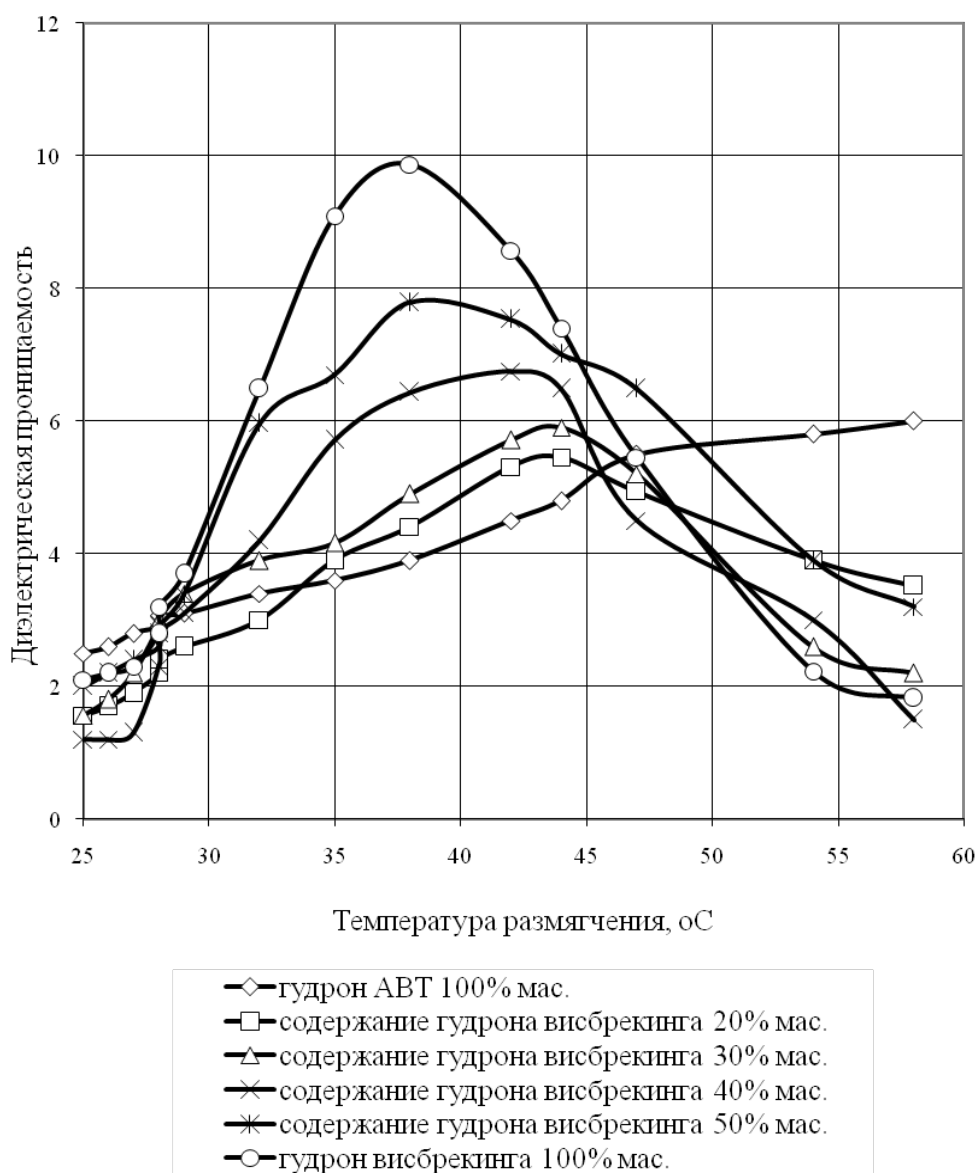


Рис. 5. Зависимости изменения диэлектрической проницаемости сырья, активированного остатком висбрекинга, от температуры размягчения продукта в процессе окисления

Следующим этапом работы стало исследование свойств дорожных битумов, полученных на стадии «компаундирование» на основе глубокоокисленных битумов и гудрона АВТ и остатка висбрекинга. С целью получения битумов марок БНД 90/130 и БНД 60/90 процесс компаундирования проводили до температуры размягчения 43 и 47 °С соответственно. Для компаундированных битумов были определены основные показатели качества (табл. 2 и 3).

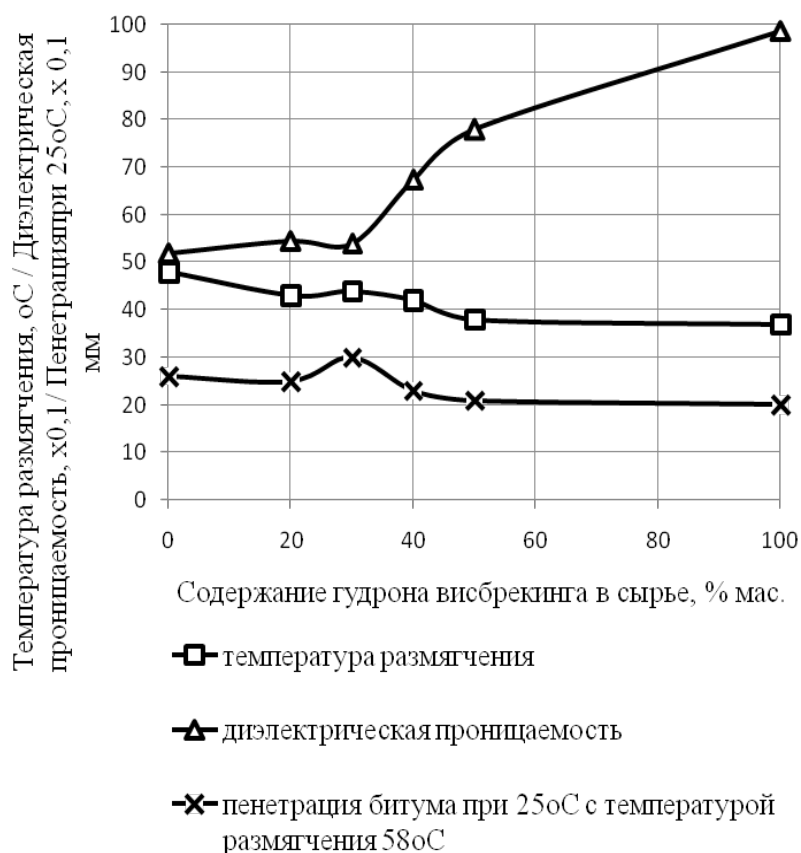


Рис. 6. Зависимости значений температуры размягчения и диэлектрической проницаемости в области структурного перехода в процессе окисления сырья и пенетрации окисленного битума при 25 °С с температурой размягчения 58 °С от содержания остатка висбрекинга в сырье

Установлено, что наилучшими свойствами в соответствии с требованиями ГОСТ 22245-90 обладают битумы, полученные компаундированием глубокоокисленных битумов, полученных окислением сырья, содержащего 20 и 30 % масс. остатка висбрекинга, гудроном АВТ. Компаундирование глубокоокисленных битумов остатком висбрекинга позволяет значительно улучшить пластичные и адгезионные свойства битумов, однако, ухудшает их термоокислительные свойства.

Таблица 2. Свойства битумов, полученных компаундированием глубокоокисленных битумов гудроном АВТ

Содержание гудрона висбрекинга в сырье, % мас.	Температура размягчения, °С	Пенетрация при 25 °С, х 0,1 мм	Пенетрация при 0 °С, х 0,1 мм	Индекс пенетрации	Температура хрупкости, °С	Адгезия по № образца	Изменение температуры размягчения после прогрева, °С	Потеря массы после прогрева, % мас.
Битум марки БНД 90/130								
0	43	107	39	0.32	- 25	3	0.5	0.055
20	43	118	42	0.31	- 23	3	1.5	0.175
30	43	121	37	0.28	- 23	1	2.0	0.298
40	43	123	35	0.27	- 23	3	2.5	0.275
50	43	132	24	0.21	- 19	2	3.0	0.331
100	43	137	18	0.18	- 17	1	3.5	0.390
Битум марки БНД 60/90								
0	47	61	31	0.40	- 25	2	0.5	0.099
20	47	63	33	0.39	- 27	1	0.5	0.119
30	47	64	28	0.36	- 22	2	2.0	0.172
40	47	66	20	0.28	- 19	2	3.0	0.230
50	47	68	19	0.27	- 15	1	3.5	0.248
100	47	71	15	0.23	- 12	1	4.0	0.320

Таблица 3. Свойства битумов, полученных компаундированием глубокоокисленных битумов остатком висбрекинга

Содержание гудрона висбрекинга в сырье, % мас.	Температура размягчения, °С	Пенетрация при 25 °С, х 0,1 мм	Пенетрация при 0 °С, х 0,1 мм	Индекс пенетрации	Температура хрупкости, °С	Адгезия по № образца	Изменение температуры размягчения после прогрева, °С	Потеря массы после прогрева, % мас.
Битум марки БНД 90/130								
0	43	131	37	0.27	- 22	3	2.5	0.09
20	43	138	30	0.23	- 20	2	2.5	0.13
30	43	141	29	0.22	- 20	1	3.5	0.08
40	43	143	27	0.21	- 19	1	4.0	0.13
50	43	152	20	0.18	- 18	1	5.0	0.31
100	43	150	18	0.17	- 18	1	6.0	0.42
Битум марки БНД 60/90								
0	47	66	32	0.39	- 25	3	2.0	0.09
20	47	68	27	0.34	- 21	2	2.5	0.11
30	47	69	23	0.30	- 18	1	3.0	0.10
40	47	70	20	0.27	- 16	1	4.0	0.11
50	47	72	18	0.25	- 15	1	4.5	0.20
100	47	78	15	0.22	- 13	1	5.0	0.38

Заключение

Таким образом, научный подход к методу компаундирования, основанный на положениях физико-химической механики нефтяных дисперсных систем, позволяет оптимизировать групповой углеводородный состав и определить область активированного состояния сырья битумного производства для проведения процесса окисления с высокой эффективностью. Для определения активированного состояния сырья и подбора оптимального внешнего воздействия можно использовать комплекс методов, таких как диэлектрический и фотоколориметрический. Данные методы достаточно точно позволяют определять область активированного состояния смесового сырья битумного производства на стадии его подготовки. Компаундирование сырья с вакуумным остатком висбрекинга позволяет регулировать области структурных переходов из свободнодисперсного в связнодисперсное состояние в процессе окисления и, следовательно, качество получаемого глубокоокисленного битума. Для получения нефтяных битумов дорожных марок БНД 90/130 и БНД 60/90 по технологии «окисление-компаундирование» на битумной установке в ОАО «Газпром нефтехим Салават» наиболее целесообразно на стадии «окисление» использовать гудрон установок АВТ с 20 - 30 % масс. остатка висбрекинга для получения глубокоокисленного битума, а на стадии «компаундирование» использовать гудрон АВТ.

Литература

1. Гуреев А.А., Чернышева Е.А., Коновалов А.А., Кожевникова Ю.В. Производство нефтяных битумов. М.: Нефть и газ, 2007. 103 с.
2. Сайфуллина А.А., Козлова М.Ю., Ефремов А.В., Басыров М.И., Никифоров Н.Н., Евдокимова Н.Г. Исследование процесса компаундирования при получении дорожных битумов на битумной установке // Нефтепереработка и нефтехимия. 2008. № 4 - 5. С. 70 - 73.
3. Материалы отраслевого совещания главных технологов нефтеперерабатывающих предприятий России и СНГ. Ярославль, 2001. 120 с.
4. Белоконь Н.Ю., Компанец В.Г., Степанова Т.М., Шабалина Л.Н. Висбрекинг-остатки как компоненты сырья дорожных битумов // Химия и технология топлив и масел. 2001. № 6. С. 7 - 10.
5. Абросимов А.А., Белоконь Н.Ю., Компанец В.Г., Калошин А.И., Калошин, Мастеркова Т.В. Углубление переработки нефтяного сырья : висбрекинг остатков // Химия и технология топлив и масел. 1998. № 2. С. 47 - 49.
6. Патент РФ № 2167906. Способ получения битума / Сайфуллин Н.Р., Калимуллин М.М., Теляшев Г.Г., Аносов В.А., Ланин И.П., Александрова С.Л., Коробкова В.М., Галиуллин З.С., Мусин И.Г., Гареев Р.Г. // БИ. 2001. №14.

7. Ишкильдин А.Ф., Александрова С.А., Мингараев С.С. Битумы из концентрированных остатков висбрекинга // Химия и технология топлив и масел. 1997. № 1. С. 17.
8. Гуреев А.А. Производство дорожных битумов в России // Химия и технология топлив и масел. 2009. № 6. С. 6 - 8.
9. Сборник научных трудов ООО «КИНЕФ» за 1998 - 2000 гг. М.: ЦНИИТ-Энефтехим, 2001. 164 с.
10. Гун Р.Б. Нефтяные битумы. М.: Химия, 1973. 432 с.
11. Евдокимова Н.Г., Прозорова О.Б., Кортянович К.В. Методы исследования свойств битумов и нефтяных остатков. Уфа: УГНТУ, 2004. 56 с.
12. Сюняев З.И., Сафиева Р.З., Сюняев Р.З. Нефтяные дисперсные системы. М.: Химия, 1990. 226 с.
13. Сафиева Р.З. Физикохимия нефти. Физико-химические основы технологии переработки нефти. М.: Химия, 1998. 448 с.

**REGULATION OF THE BITUMINOUS PRODUCTION RAW
WITH THE USE A VACUUM REMAINDER
OF THE VISCOSITY BREAKING INSTALLATION**

N.G. Evdokimova, E.V. Gryzina, E.A. Yalieva

*Ufa State Petroleum Technical University Salavat Branch, Salavat, Russia
e-mail: ruskih1@rambler.ru*

Gureev A.A.

*Russian State University of oil and gas of name I.M. Gubkin, Moscow, Russia
e-mail: a.gureev@mail.ru*

Abstract. *The special features of the preparation of the bituminous production raw by the compounding method with the vacuum remainder of viscosity breaking for the bituminous installation working according to diagram "oxidation - compounding" are investigated in the work. The activated state range of raw material is determined by dielectric and photo - colorimetric methods. The effectiveness of the oxidation process of activated raw material is established. The possibility of regulating the structural transition ranges in the oxidation process and quality of obtained deep-oxidation bitumen is shown by the vacuum viscosity breaking remainder. The recommendations for obtaining petroleum road bitumen with the technology "oxidation - compounding" for the bituminous installation in JSC "Gazprom neftekhim Salavat" are proposed.*

Keywords: *activated state, dielectric permeability, compounding, oxidation, viscosity breaking remainder, poly-extreme dependences, regulation of raw properties, structural transition, raw bitumen, photocalorimetric method*

References

1. Gureev A.A., Chernysheva E.A., Konovalov A.A., Kozhevnikova Yu.V. *Proizvodstvo neftyanykh bitumov (Bitumen production)*. Moscow, Neft i gaz, 2007. 103 p.
2. Saifullina A.A., Kozlova M.Yu., Efremov A.V., Basyrov M.I., Nikiforov N.N., Evdokimova N.G. *Issledovanie protsessa kompaundirovaniya pri poluchenii dorozhnykh bitumov na bitumnoi ustanovke (Research the process of compounding in obtaining road bitumen in asphalt installation)*, *Neftepererabotka i neftekhimiya*, 2008, Issue 4 - 5, pp. 70 - 73.
3. *Materialy otraslevogo soveshchaniya glavnykh tekhnologov neftepererabatyvayushchikh predpriyatii Rossii i SNG. (Proceedings of industry technologists meeting the main oil refineries in Russia and CIS)*. Yaroslavl', 2001. 120 p.
4. Belokon' N.Yu., Kompaneets V.G., Stepanova T.M., Shabalina L.N. *Visbreking-ostatki kak komponenty syr'ya dorozhnykh bitumov (Visbreaking-residues as raw material components for the road bitumen)*, *Khimiya i tekhnologiya topliv i masel - Chemistry and Technology of Fuels and Oils*, 2001, Issue 6, p. 7 -10.
5. Abrosimov A.A., Belokon' N.Yu., Kompaneets V.G., Kaloshin A.I., Kaloshin, Masterkova T.V. *Uglublenie pererabotki neftyanogo syr'ya : visbreking ostatkov (Deep-*

ening the of crude oil processing: residues visbreaking), *Khimiya i tekhnologiya topliv i masel - Chemistry and Technology of Fuels and Oils*, 1998, Issue 2, pp. 47 - 49.

6. Patent of Russian Federation № 2167906. Bitumen production process / Saifullin N.R., Kalimullin M.M., Telyashev G.G., Anosov V.A., Lanin I.P., Aleksandrova S.L., Korobkova V.M., Galiullin Z.S., Musin I.G., Gareev R.G. Publ. 27.05.2001.

7. Ishkil'din A.F., Aleksandrova S.A., Mingaraev S.S. Bitumy iz kontsentririvannykh ostatkov visbrekinga (Bitumen from the concentrated visbreaking residues), *Khimiya i tekhnologiya topliv i masel - Chemistry and Technology of Fuels and Oils*, 1997, Issue 1, C. 17.

8. Gureev A.A. Proizvodstvo dorozhnykh bitumov v Rossii (Manufacture of road bitumen in Russia), *Khimiya i tekhnologiya topliv i masel - Chemistry and Technology of Fuels and Oils*, 2009, Issue 6, pp. 6 - 8.

9. Sbornik nauchnykh trudov OOO «KINEF» za 1998 - 2000 years (Collection of scientific works "KINEF" Ltd. for 1998 - 2000's.) Moscow: TsNIITeneftkhim, 2001. 164 p.

10. Gun R.B. Neftyanye bitumy (Petroleum bitumen). Moscow, Chemistry, 1973. 432 p.

11. Evdokimova N.G., Prozorova O.B., Kortyanovich K.V. Metody issledovaniya svoistv bitumov i neftyanykh ostatkov (Methods of research the properties of bitumen and petroleum residues). Ufa, UGNTU, 2004. 56 p.

12. Syunyaev Z.I., Safieva R.Z., Syunyaev R.Z. Neftyanye dispersnyye sistemy (Petroleum disperse systems). Moscow, Khimiya, 1990. 226 p.

13. Safieva R.Z. Fizikokhimiya nefti. Fiziko-khimicheskie osnovy tekhnologii pererabotki nefti (Physicochemistry of petroleum. The physico-chemical fundamentals of petroleum refining). Moscow, Khimiya, 1998. 448 p.