

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИК-СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИМ МЕТОДОМ ДОРОЖНОГО БИТУМА, МОДИФИЦИРОВАННОГО ЭЛЕМЕНТНОЙ СЕРОЙ

Уменьшение запасов нефти и рост цен на нефть приводит к производству альтернативного асфальтового вяжущего из нетрадиционных источников и это направление становится все более прибыльным. За последние десятилетия в мире значительно возросла доступность серы как побочного продукта. В основном это связано с введением строгих экологических ограничений на процессы переработки природного газа, которые ограничивают максимальное количество серы, присутствующей в природном газе [1, 2].

Поэтому стало актуальным разработать экономичные и экологически безопасные способы применения модифицированной серы. Модифицированная сера непосредственно вводится в горячее асфальтовое покрытие, чтобы исключить затраты и риски, связанные с использованием горячей жидкой серы, и значительно уменьшить испарения и запахи, исходящие из дорожной смеси.

В эксперименте использована элементная сера производства ООО «Мубарекнефтегаз», побочный продукт с чистотой 99,9%, пиролизный дистиллят Устюртского газо-химического комплекса, госсиполовая смола – отход переработки хлопкового масла и битум асфальтовый дорожный БНД 40/60 от Ферганского нефтеперерабатывающего завода.

*Приготовление модифицированной серы.* В реактор, представляющий собой вертикальный цилиндрический стальной аппарат диаметром 25 мм, высотой 700 мм, снабженный рубашкой теплообмена, мешалкой, обратным холодильником и ловушкой, загружали 200 г молотой серы, 50 г пиролизного дистиллята и 100 г госсиполовой смолы. Расплавленную серу, пиролизный дистиллят и госсиполовую смолу механически перемешивали при контролируемой температуре (145°C) в течение 3 часов. Ход реакции контролировали путем регистрации изменений вязкости во время процесса перемешивания. Затем образцам давали остыть с контролируемой скоростью 8–10°C/мин. Продукт представляет собой твердую модифицированную серу, которая имеет черный цвет.

Были составлены образцы с использованием грубых и мелких наполнителей, песка и наполнителя, таких как 23, 33, 40 и 4 мас. %

соответственно. Различные партии асфальтовых смесей готовили с массовым процентным содержанием серы 0%, 20%, 30%, 40% и 50% в соответствии с ГОСТ 12801-84.

Смешение госсиполовой смолы и пиролизного дистиллята с серой сопровождается химическими реакциями связывания серы, тип которых зависит от состава госсиполовой смолы и пиролизного дистиллята, от температуры нагрева и времени реакции. Следует отметить, что сера при  $T < 95^\circ\text{C}$  существует в виде циклооктасульфида с длиной связи S–S 0,206 нм и углом связи S–S –  $108^\circ$ . При  $T < 119^\circ\text{C}$  сера кристаллизуется. Когда элементарную серу нагревают до  $119^\circ\text{C}$ , а затем охлаждают с более медленной скоростью охлаждения  $< 1,5^\circ\text{C}/\text{мин}$  образуется плотный кристалл альфа-серы ( $S_\alpha$ ) с ромбической морфологией серы. При  $119^\circ\text{C}$  (температура плавления серы) циклооктасульфид, частично превращается в полимерные зигзагообразные цепи (длина связи 0,204 нм). При температуре нагрева менее  $140^\circ\text{C}$  элементарная сера образует полисульфидные соединения, которые инициируют химические реакции с образованием различных сульфидных соединений. Такие структуры значительно отличаются по химической и термической стабильности от немодифицированной серы.

Состав и структура модифицированной серы была изучена с помощью ИК-спектроскопии. На рис. 1 и 2 приведены ИК-спектры для госсиполовой смолы и модифицированной серы соответственно.

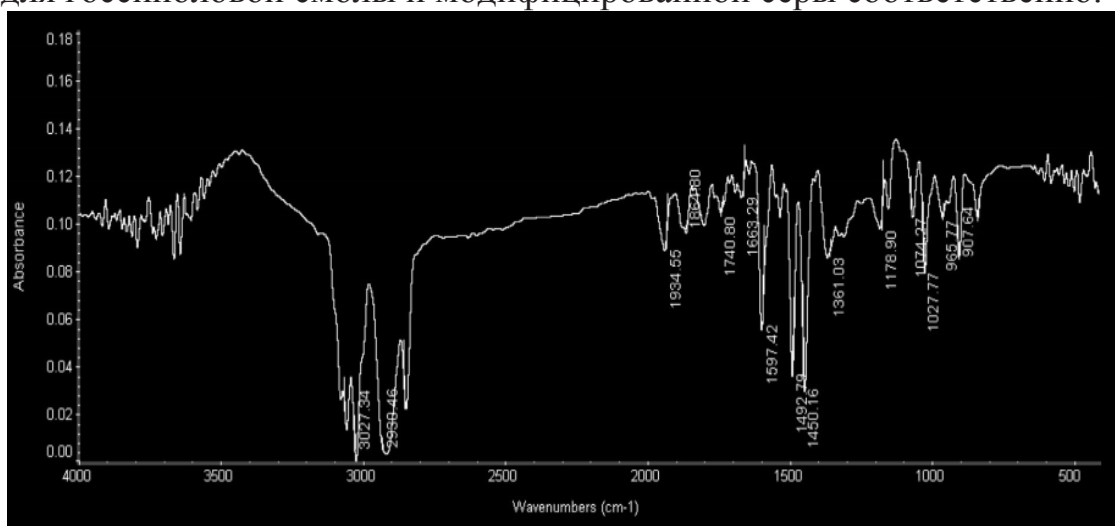
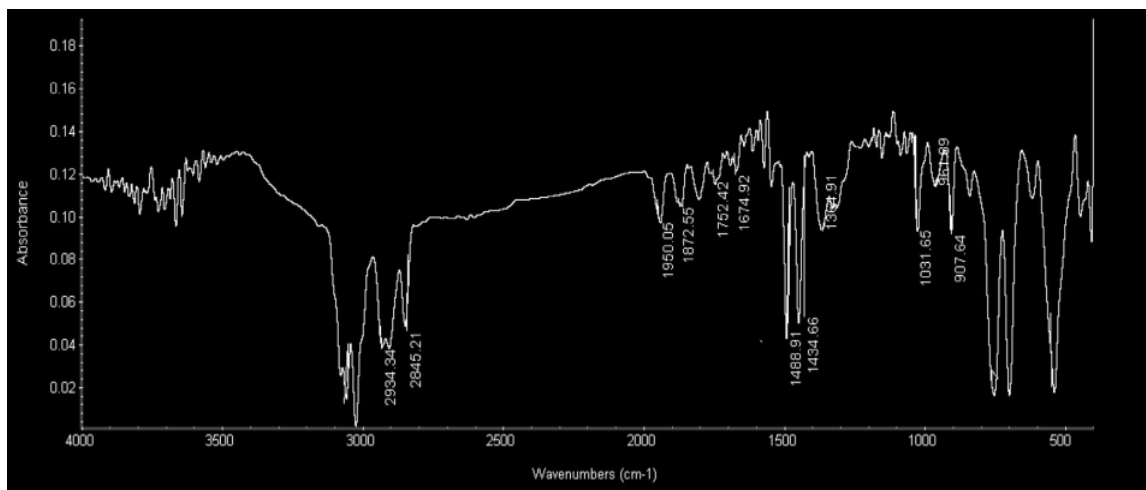


Рисунок 1 - ИК-спектр госсиполовой смолы

В ИК-спектре модифицированной серы уменьшается пик связи C–S при  $1650\text{ см}^{-1}$ , связанный с госсиполовой смолой и с неопределёнными связями пиролизного дистиллята, а также образовалась новая связь при  $694\text{ см}^{-1}$ , что согласуется со связью C–S.



**Рисунок 2 - ИК-спектр модифицированной серы**

Замена асфальтового вяжущего на 20% модифицированной серой обеспечивает такие же свойства по устойчивости, как у обычного асфальтового вяжущего, с ближайшими процентами оптимального содержания связующего. Это явление основано на концепции растворимости серы в асфальтовом вяжущем. Растворимость серы в асфальте составляет около 18–20% при температуре смешивания.

Смесь серы и асфальта 50/50 дает жесткость по ГОСТ 12801-84 выше, чем у смеси 0/100 с соотношением 55%, что может увеличить восприимчивость смеси к растрескиванию при высоких нагрузках. Поэтому наилучшее значение для замещения будет при соотношении модифицированная сера : асфальтовая смесь равном 40 : 60.

С развитием газоперерабатывающих заводов в ООО «Мубарекнефтегаз» производство серы будет увеличиваться и в полной мере сможет обеспечить необходимые количества модифицированной серы для получения асфальтовых смесей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. S.R. Sergienko, B.A. Taimova, E.I. Talalaev, Macromolecular Non-hydrocarbon Petroleum Compounds: Tars and Asphaltenes, Nauka, Moscow, 1979.

2. T.A. Sullivan, W.C. Mc Bee, Development and testing of superior sulfur concretes, U.S. Bureau of Mines Report No. RI 8160, Washington, D.C., 1976, p. 30.