

УДК 662.744:672.742

## Получение связующих для дорожного строительства из смесей бурого угля, нефтяных остатков и полимерных отходов

В. И. ШАРЫПОВ, Н. Г. БЕРЕГОВЦОВА, С. В. БАРЫШНИКОВ, Б. Н. КУЗНЕЦОВ

*Институт химии и химической технологии Сибирского отделения РАН,  
ул. К. Маркса, 42, Красноярск 660049 (Россия)**E-mail: sharypov@icct.ru*

(Поступила 21.01.05)

### Аннотация

Исследован процесс совместной переработки бурых углей, нефтяных остатков и отходов синтетических полимерных материалов с получением высококачественных связующих для дорожного строительства и дистиллятных углеводородных продуктов. Технология включает стадии термического растворения бурого канско-ачинского угля в нефтяном остатке (1 : 1) в присутствии добавок полимерных материалов и термической обработки образующихся высококипящих продуктов в среде паров воды на активированных железистоокисных катализаторах рудного происхождения. Показано, что основными продуктами процесса являются высококипящие фракции жидких продуктов превращения угля, нефти и полимерного материала (битум), а также дистиллятные фракции углеводородных продуктов. Осуществлен подбор технологических параметров процесса, позволяющих получать битум с выходом 56.6–62.1 % (по массе) и дистиллятные углеводородные продукты – 17.6–23.0 % (по массе). Добавки на стадии термического растворения угля ряда синтетических полимерных материалов (полиэтилена, полипропилена, резины на основе бутилового каучука с массовой долей 25 %) позволяют увеличить выход и существенно улучшить основные характеристики битумов. Получаемые битумы по основным характеристикам соответствуют требованиям ГОСТ для высококачественных нефтяных битумов, а состав дистиллятных продуктов позволяет рассматривать их в качестве сырья для производства моторных топлив и органических растворителей.

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время дорожные битумы производятся преимущественно путем окисления воздухом остатков перегонки нефти. Качество образующихся связующих во многом определяется типом исходного нефтяного сырья [1]. Значительная часть получаемых таким методом нефтяных битумов обладает недостаточными высокими эксплуатационными свойствами.

Перспективным сырьем для производства связующих материалов являются сланцы, бурые и сапропелитовые угли благодаря их значительным запасам и низкой стоимости по сравнению с нефтью, а также относительно высокой степени превращения в целевые продукты в процессах их термической переработки [2–5]. Однако в большинстве случаев

получаемые продукты не могут быть непосредственно использованы в качестве связующих материалов из-за несоответствия требованиям, предъявляемым к битумам.

В ряде работ показано, что качественные и эксплуатационные характеристики материалов на основе нефтяных битумов могут быть улучшены путем модификации с использованием полимерных синтетических материалов. Полимербитумные композиции обычно готовятся смешением компонентов и нагреванием при температуре 200–250 °С в течение нескольких часов до образования гомогенной смеси. В качестве полимерных модификаторов битумов использовали полиэтилен [8–12], атактический полипропилен [8, 13–15], хлорсульфированный полиэтилен [8, 9] и др. Значительный интерес проявляется к разработ-

ке композиций битумов с синтетическими каучуками [6, 7]. Отличительная особенность каучуков заключается в их способности к большим эластическим деформациям. Предполагается, что наличие подобных модификаторов в составе полимербитумных композиций позволит увеличить их эластичность и пластичность в широком температурном интервале. Однако в подавляющем большинстве случаев для достижения требуемого результата необходимо использовать значительные (до 50 %) добавки полимеров, а в ряде случаев это не приводит к заметному улучшению свойств битумов. Кроме того, отмечается невысокая стабильность полимербитумных смесей при повышенных температурах, что затрудняет приготовление на их основе качественных дорожных покрытий.

Такие результаты, по-видимому, обусловлены плохой совместимостью битумов с некоторыми полимерными материалами. Известно, что нефтяные битумы – это дисперсионные системы, состоящие в основном из трех групп веществ: масел, смол и асфальтенов. Дисперсионной средой являются мальтены (сумма масел и смол), дисперсной фазой – асфальтены. Устойчивость системы зависит от степени “родства” мальтенов и асфальтенов, которую с определенным приближением можно оценить как разность между их степенями ароматичности. Чем меньше эта величина, тем более устойчива система битума [16]. В этой связи добавка полимеров, имеющих неароматическую структуру, может снижать устойчивость битумных композиций.

Ранее нами показано [17–19], что в процессах совместных термических превращений бурого канско-ачинского угля и полиэтилена происходит химическое взаимодействие компонентов смеси с образованием продуктов, включающих как ароматические фрагменты угольной структуры, так и алифатические фрагменты полимера. Эти данные позволяют предположить, что совместимость полимербитумных композиций, полученных терморазложением смеси бурого угля и полимерных материалов в нефтяном остатке будет выше по сравнению с битумами, модифицированными простой добавкой полимеров.

В настоящей работе исследован процесс получения органических связующих матери-

алов и дистиллятных фракций из смеси бурого угля и полимерных материалов, включающий их термическое растворение в нефтяном остатке и последующую термическую обработку образующихся продуктов водяным паром в присутствии железорудного оксидного катализатора.

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В работе использовали бурый уголь марки Б-2 Бородинского разреза Канско-Ачинского бассейна (КАБ) с размером частиц менее 0.1 мм. Высушенный при 100–105 °С уголь имел следующий состав (в расчете на сухую обеззоленную массу), массовая доля, %: С 70.8, Н 4.9, N 0.8, S 0.2, O 23.3. В качестве растворителя использовали остаток перегонки западно-сибирской нефти следующего состава, массовая доля, %: С 85.9, Н 12.5, N 0.2, S 0.4, O 1.0.

В качестве модифицирующих добавок выбраны промышленные образцы полиэтилена среднего давления (ПЭ) (молекулярная масса 20 000) и атактического (А-ПП) (молекулярная масса 900), а также отходы производства (с массовой долей бутилового каучука 55 %) Красноярского завода резинотехнических изделий.

Терморазложение смесей бурого угля и синтетических полимерных материалов в нефтяном остатке проводили на установке с вращающимися стальными автоклавами вместимостью 0.25 л. Соотношение уголь : нефтяной остаток составляло 1 : 1. Необходимое количество компонентов смеси загружали в автоклав. Для удаления воздуха сосуд продували десятикратным объемом аргона. Скорость нагрева автоклава составляла 9–10 °С/мин. За начало реакции принимали момент достижения заданной температуры. Продолжительность процесса составляла 60 мин.

После охлаждения автоклава газообразные продукты собирали в газометр для определения объема. Затем автоклав вскрывали и выгружали (количественно) содержимое. Конденсированные продукты подвергали экстракции спирто-бензольной смесью в аппаратах Сокслетта. По количеству твердого остатка рассчитывали степень конверсии угля. После удаления растворителя экстракт раз-

деляли на фракцию, выкипающую до 350 °С, и остаток (перегонкой при давлении 10 мм рт. ст.).

Термическую обработку в среде паров воды конденсированных продуктов терморастворения проводили на проточной лабораторной установке с реактором, вместимость которого была 0.1 л. Соотношение сырье : вода составляло 1 : 0.5 мас. ч. Катализатор добавляли в количестве 5 % от органической массы сырья. В качестве катализатора использовали агломерат железных руд, вырабатываемый на Абагурской аглофабрике, содержащий более 53 % (по массе) железа в виде оксидов. Агломерат предварительно подвергали обработке в мельнице-активаторе АГО-2 в смеси с добавками воды при развиваемом мелющими телами ускорении, равном 600 м/с<sup>2</sup>. Продолжительность активирования составляла 30 с, и за это время удельная поверхность образца увеличивалась до 65 м<sup>2</sup>/г. Выбирали условия активирования, исходя из результатов проведенных ранее исследований влияния интенсивности, продолжительности и среды активирования на изменение текстурных параметров обрабатываемых образцов и их каталитическую активность в процессе гидрогенизации бурого угля [19].

Образующиеся продукты разделяли в холодильнике-сепараторе на газообразные и конденсированную фазы. Объем газообразных продуктов определяли с помощью газовых часов. Воду от конденсированных продуктов отделяли декантацией. Углеводородную часть продуктов разделяли на фракции, выкипающие до 200 °С, кипящие в интервале 200–350 °С и начинающие кипеть при температуре 350 °С.

Состав газообразных продуктов определяли на хроматографе ЛХМ-80-1 с детектором-катарометром. Содержание индивидуальных углеводородов в дистиллятных фракциях определяли методом хромато-масс-спектрометрии с использованием хроматографа Agilent 6890, снабженного детектором селективных масс Agilent 5973 (70 eV). Разделение продуктов осуществлялось на капиллярной колонке Optima I No. 726839.50 (50 м × 0.2 мм с OV-1) при программировании температуры от 40 до 185 °С со скоростью 3 °С/мин. Идентификацию веществ проводили с использованием компьютерной базы данных NIST98.

Высококипящие фракции полученных продуктов испытывали по стандартным методикам, используемым для нефтяных битумов [20–24].

В ряде экспериментов в битумах определяли содержание асфальтенов путем их растворения в горячем бензоле и последующего осаждения петролейным эфиром. В деасфальтизате определяли содержания смол и масел методом адсорбционной хроматографии в стеклянной колонке [25].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

### *Термическое растворение смесей бурого угля и полимерных материалов в нефтяном остатке*

Проведенные исследования показали, что при терморастворении бурого угля в остатке дистилляции нефти при 320–410 °С выход экстрагируемых спирто-бензольной смесью веществ слабо зависит от температуры процесса и составляет 72–77 % от органической массы сырья (ОМС) (органическая масса угля + масса нефтяного остатка). Однако состав образующихся конденсированных продуктов существенно меняется (рис. 1). Содержание в них высококипящей фракции, которая предположительно может быть использована в качестве органических связующих, снижается при температуре процесса свыше 350 °С. Одновременно растет содержание в продуктах

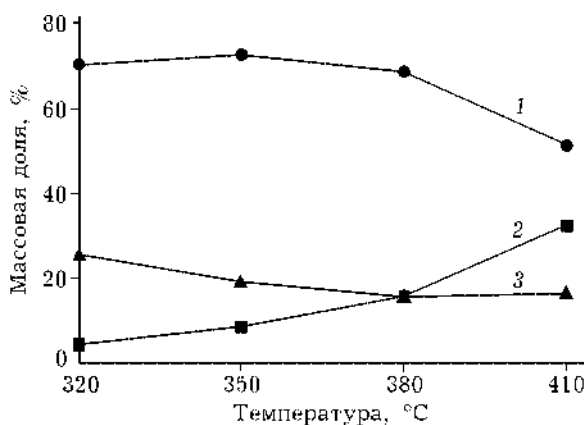


Рис. 1. Влияние температуры процесса термического растворения бурого угля КАБ в нефтяном остатке на состав продуктов, экстрагируемых спирто-бензольной смесью, и содержание: 1 – фракции, кипящей выше 350 °С, 2 – фракции, выкипающей до 350 °С, 3 – твердого углеводородного остатка.

ТАБЛИЦА 1

Влияние атактического полипропилена (А-ПП) на состав конденсированных продуктов и степень превращения бурого угля в процессе его терморазложения в нефтяном остатке при 350 °С

| Массовая доля<br>А-ПП*, % | Состав продуктов (массовая доля), % |                             | Твердый<br>углеродный<br>остаток | Степень превращения<br>ОМУ, % (по массе) |
|---------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|--|
|                           | Фракции<br>выкипающая<br>до 350 °С  | с началом кипения<br>350 °С |                                  |  |
| –                         | 8.4                                 | 72.7                        | 18.9                             | 64.1                                     |
| 10                        | 9.0                                 | 74.9                        | 16.1                             | 65.9                                     |
| 25                        | 10.1                                | 77.9                        | 12.0                             | 69.9                                     |
| 35                        | 10.3                                | 80.1                        | 9.6                              | 70.5                                     |
| 50                        | 10.5                                | 82.0                        | 7.5                              | 71.8                                     |

\*В расчете на ОМС (органическая масса угля (ОМУ) + масса нефтяного остатка + масса полипропилена).

фракции, выкипающей в интервале 200–350 °С. Содержание твердого остатка заметно уменьшается, по-видимому, вследствие увеличения конверсии угля в жидкие и газообразные продукты.

Добавление выбранных в настоящей работе синтетических полимерных материалов приводит к увеличению содержания в конденсированных продуктах экстрагируемых спирто-бензольной смесью веществ (табл. 1). Так, при увеличении массовой доли атактического полипропилена в исходной смеси до 50 % содержание фракции с началом кипения 350 °С увеличилось на 9 % (по массе), а твердого остатка уменьшилось в 2.5 раза. Необходимо отметить заметное увеличение конверсии угля в жидкие и газообразные продукты под действием добавок полипропилена. Ранее подобный эффект наблюдался при совместном терморазложении бурого канско-ачинского

угля с полиэтиленом, что объяснялось химическим взаимодействием продуктов термической деструкции угля и полимера [25–27].

Некоторые показатели процесса терморазложения угля в нефтяном остатке в присутствии добавок полимеров различного типа представлены в табл. 2. Видно, что основными продуктами превращения являются высококипящие фракции, выход которых в присутствии полимеров (в количестве 25 % от ОМС) составляет 72.6–73.6 % (по массе). Максимальный выход дистиллятной фракции (выкипающей до 350 °С) и газообразных продуктов отмечался в опытах с использованием в качестве добавок отходов резинотехнических изделий (РТИ). Газообразные продукты термического разложения угля более, чем на 75 % (по массе) состоят из оксидов углерода, образующихся, по-видимому, в результате реакций термического разложения кислород-

ТАБЛИЦА 2

Влияние типа добавляемого полимерного материала на выход продуктов в процессе его совместного терморазложения с бурым углем в нефтяном остатке при 350 °С

| Тип полимерного материала | Выход продуктов, % на ОМС |   |                             | Твердый<br>углеродный<br>остаток | Степень<br>превращения<br>угля,<br>% (по массе) |
|---------------------------|---------------------------|---|-----------------------------|----------------------------------|---|
|                           | Газо-<br>образные         | Жидкие фракции<br>выкипающая<br>до 350 °С | с началом<br>кипения 350 °С |                                  |   |
| Без добавки               | 4.7                       | 8.0                                       | 69.3                        | 18.0                             | 64.1  |
| ПЭ                        | 4.9                       | 8.3                                       | 73.9                        | 12.9                             | 65.6  |
| А-ПП                      | 5.6                       | 9.5                                       | 73.6                        | 11.3                             | 69.9  |
| Отходы РТИ                | 6.0                       | 10.3                                      | 72.6                        | 11.1                             | 70.3  |

*Примечание.* Содержание органической массы полимерного материала в смеси составляло 25 % на ОМС (ОМУ + масса нефтяного остатка + органическая масса полимерного материала)

ТАБЛИЦА 3

Влияние температуры процесса термообработки продуктов совместного терморастворения угля и полипропилена при 350 °С на некоторые характеристики образующихся битумов

| Температура процесса, °С | Глубина проникания иглы, 0.1 мм, при 25 °С | Растяжимость при 25 °С, см | Состав битумов (массовая доля), % |       |       |
|--------------------------|--|----------------------------|-----------------------------------|-------|-------|
|                          |  |                            | Асфальтены                        | Смолы | Масла |
| 350                      | 250  | 50                         | 12                                | 25    | 63    |
| 380                      | 170  | 66                         | 20                                | 31    | 49    |
| 400                      | 150  | 60                         | 22                                | 30    | 48    |
| 440                      | 87   | 45                         | 45                                | 20    | 35    |

содержащих функциональных групп органической массы угля. Низкий выход углеводородных газов указывает на то, что в выбранных условиях нефтяной остаток не подвергается глубокой термической деструкции.

#### *Термическая обработка в среде паров воды высококипящих фракций терморастворения угля*

Испытание высококипящих фракций терморастворения угля для оценки перспектив их использования в качестве органических связующих для дорожного строительства по стандартным методикам [20–24] показало, что по таким характеристикам, как растяжимость и глубина проникания иглы, они не соответствуют качественным нефтяным битумам. Поэтому для придания продуктам терморастворения угля необходимых свойств их подвергали термической обработке в среде паров воды в присутствии катализаторов рудного происхождения, содержащих в качестве основной кристаллической фазы оксиды железа. Предполагалось, что в выбранном температурном интервале термической обработки будут протекать следующие основные химические процессы:

- окисление углеводородов на поверхности оксидов железа;
- конденсация продуктов окисления с образованием веществ с высокой молекулярной массой, обеспечивающих необходимую эластичность получаемых битумов;
- взаимодействие восстановленных форм катализатора с водой с образованием оксидов железа и водорода.

Кроме того, образующийся водород может участвовать в реакциях гидрирования соединений с кратными связями, что будет спо-

собствовать увеличению стабильности образующегося продукта при его хранении и использовании.

Исследование влияния температуры термообработки высококипящих фракций совместного терморастворения угля и полипропилена на групповой состав образующихся битумов показало, что увеличение температуры процесса сопровождается превращением масел в асфальтены и смолы (табл. 3). Высокие температуры инициируют реакции превращения смол в асфальтены, что приводит к резкому увеличению вязкости продуктов и снижению их эластичности. Максимальное значение растяжимости, характеризующее когезионную прочность битума, обнаружено у продуктов, полученных при 380 °С. Сопоставление полученных результатов с требованием ГОСТ для нефтяных битумов показывает, что наилучшими показателями обладают продукты, полученные в интервале температур 400–380 °С.

В табл. 4 приведены результаты определения выхода продуктов, образующихся в процессе термической обработки в среде водяного пара высококипящих фракций, полученных на стадии терморастворения смеси угля с синтетическими полимерами различного типа.

Видно, что основным продуктом превращения является остаток дистилляции, выход которого в выбранном интервале температур процесса изменяется от 74.2 до 84.1 % в расчете на массу загружаемого сырья. Повышенный выход дистиллятных фракций характерен для опытов с использованием в качестве добавок атактического полипропилена.

Исходя из представленных выше результатов составлен материальный баланс процесса, включающий органическую массу взято-

ТАБЛИЦА 4

Выход продуктов термической обработки в среде паров воды высококипящих фракций совместного терморастворения бурого угля с различными полимерными материалами. Содержание полимера в исходной смеси 25 %, температура терморастворения 350 °С

| Тип полимера | Температура, °С | Выход продуктов (массовая доля), % |                  |            | Остаток дистилляции |
|--------------|-----------------|------------------------------------|------------------|------------|---------------------|
|              |                 | Газ                                | Фракция, кипящая |            |                     |
|              |                 |                                    | до 200 °С*       | 200–350 °С |                     |
| ПЭ           | 380             | 3.2                                | 4.0              | 8.7        | 84.1                |
|              | 400             | 4.5                                | 4.9              | 11.4       | 79.2                |
| А-ПП         | 380             | 4.7                                | 4.1              | 14.2       | 77.0                |
|              | 400             | 5.3                                | 5.2              | 15.3       | 74.2                |
| Отходы РТИ   | 380             | 2.7                                | 3.9              | 12.3       | 81.1                |
|              | 400             | 4.1                                | 5.3              | 14.4       | 76.2                |

\*Выход фракции рассчитывали как 100 % – процент выхода (газы + фракция 200–350 °С – остаток продуктов дистилляции) (в мас. %).

го сырья и органическую массу полученных продуктов (табл. 5). Видно, что из бурого угля нефтяного остатка и выбранных в настоящей работе синтетических полимерных материалов может быть получено до 62.1 % (по массе) битумов и до 23.0 % (по массе) дистиллятных углеводородных продуктов (сумма фракций, выкипающих в интервалах температур начала кипения 200 и 200–350 °С). Особый интерес представляет использование получаемых таким методом битумов в качестве связующих для дорожного строительства. В этом случае нет необходимости выделять твердый остаток

из образующихся битумов, а это существенно упрощает технологический процесс и снижает себестоимость получаемых продуктов. Известны литературные данные о том, что добавка в дорожные асфальты на основе битумов порошкообразного угля заметно улучшает его эксплуатационные характеристики [1].

#### Исследование свойств битумов и состава дистиллятных продуктов

Остатки дистилляции, включающие в свой состав высококипящие продукты (>350 °С)

ТАБЛИЦА 5

Материальный баланс по органической массе сырья и продуктов процесса получения связующих для дорожного строительства и дистиллятных углеводородных фракций из бурого угля, полимерных отходов и нефтяного остатка. Температура терморастворения 350 °С, термообработки в среде воды – 380 °С

| Сырье и продукты              | Массовая доля, %  |      |      |
|-------------------------------|-------------------|------|------|
|                               | <b>Взято</b>      |      |      |
| БУ                            | 37.5              |      |      |
| НО                            | 37.5              |      |      |
| ПМ*                           | 25.0              |      |      |
| <i>Итого</i>                  | 100               |      |      |
|                               | <b>Получено**</b> |      |      |
| ГП                            | 7.3               | 9.0  | 8.0  |
| Фракция, выкипающая до 200 °С | 6.9               | 7.5  | 7.9  |
| Фракция 200–350 °С            | 10.7              | 15.5 | 14.1 |
| Битум                         | 62.1              | 56.6 | 59.0 |
| Твердый углеродный остаток    | 13.0              | 11.4 | 11.0 |
| <i>Итого</i>                  | 100               | 100  | 100  |

\*Массовая доля полимерного материала (ПЭ, А-ПП, отходы РТИ) в смеси составляла 25 % на ОМС.

\*\*Первое значение – с ПЭ, второе – с А-ПП, третье – с отходами РТИ.

ТАБЛИЦА 6

Характеристики битума, полученного совместным превращением бурого угля и нефтяного остатка

| Показатель                               | Без<br>добавки                          | Полученный терморазтворением<br>с добавкой |      |             | Нормы по маркам нефтяных<br>битумов (ГОСТ 22245-76) |             |
|--|---|--|------|-------------|---|-------------|
|  |   | ПЭ   | А-ПП | отходов РТИ | БНД 90/130  | БНД 40/60   |
| Глубина проникания                       |   |  |      |             |   |             |
| иглы, 0.1 мм, при температуре:           |   |  |      |             |   |             |
| 25 °С                                    | 56                                      | 97   | 105  | 13          | 91-130  | 41-60       |
| 0 °С                                     | 15                                      | 29   | 29   | 35          | ≥28   | ≥13         |
| Температура размягчения                  |   |  |      |             |   |             |
| по КиШ, °С                               | 40                                      | 48   | 41   | 43          | ≥43   | ≥51         |
| Растяжимость при температуре, см:        |   |  |      |             |   |             |
| 25 °С                                    | 33                                      | 60   | 55   | 63          | ≥60   | ≥40         |
| 0 °С                                     | –                                       | 4.2  | 3.5  | 4.5         | ≥4.2  | –           |
| Температура хрупкости, °С                | –19                                     | –15  | –19  | –17         | –17 и менее   | –10 и менее |
| Температура вспышки, °С                  | 210                                     | 230  | 220  | 220         | ≥220  | ≥220        |
| Сцепление с мрамором или песком          | Выдерживает по контрольному образцу № 2 |  |      |             |   |             |
| Изменение температуры                    |   |  |      |             |   |             |
| размягчения после прогрева, °С           | 6                                       | 6  | 6    | 6           | ≤6  | ≤7          |
| Содержание водорастворимых соединений, % |   |  |      |             |   |             |
|  | –                                       | –  | 0.3  | –           | ≤0.3  | ≤0.2        |

испытывали по стандартным методикам, используемым для определения качества битумов. В табл. 6 представлены некоторые результаты испытаний. Для сопоставления здесь же приведены нормативные требования по анализируемым параметрам для некоторых марок нефтяных битумов. Видно, что битум, полученный из смесей бурого угля и нефтяного остатка без добавок синтетических полимерных материалов, по ряду показателей соответствует требованиям, предъявляемым к высококипящим битумам. В то же время по одному из основных показателей – растяжимости (характеризующей когезионную прочность битума) – полученные результаты не удовлетворяют требованиям ГОСТ. Добавки на стадии термического растворения угля в нефтяном остатке выбранных в данной работе синтетических полимерных материалов позволяют существенно улучшить качественные характеристики битумов. Тип добавки оказывает существенное влияние на эти показатели. Наиболее высокие значения растяжимости достигаются при использовании в качестве полимерных добавок полиэтилена и отходов производства РТИ. Наименее вязкие битумы

получены при использовании атактического полипропилена и отходов РТИ.

Фракции, выкипающие до 200 °С, согласно данным их исследования методом хромато-масс-спектрометрии, преимущественно содержат парафиновые углеводороды (массовая доля 70–75 %) с максимальным числом атомов углерода в молекуле, равным 13, а также ароматические углеводороды (массовая доля 23–25 %), представленные алкилпроизводными бензола. Строение парафиновых углеводородов во многом определяется типом используемого в качестве добавки к углю синтетического полимера. Так, в опытах с добавкой полиэтилена это в основном углеводороды нормального строения. Добавки полипропилена приводят к увеличению концентрации в продуктах структурных изомеров.

Фракции с температурой кипения 200–350 °С содержат парафины с числом атомов углерода от 12 до 26. Массовая доля олефиновых углеводородов достигает 7 %. Помимо производных бензола, в составе ароматических углеводородов обнаружены инданы, тетралин, нафталин и его алкилпроизводные с суммарной массовой долей не более 5 %.

Из полученных результатов следует, что дистиллятные фракции могут рассматриваться в качестве сырья для производства моторных топлив, растворителей и др. либо могут быть использованы как топливо для печей форсуночного типа, часто используемых в промышленных установках для производства битумов.

## ВЫВОДЫ

Исследован процесс получения битумов, основанный на комбинации термического растворения смеси бурого угля и синтетических полимерных материалов в нефтяном остатке при 350–380 °С с последующей термообработкой продуктов в среде водяного пара при 350–400 °С и давлении, не превышающем 5 атм. Осуществлен подбор технологических параметров процесса, позволяющих получать битум с выходом 56.6–62.1 % (по массе) и дистиллятные углеводородные продукты с выходом 17.6–23.0 % (по массе).

Показано, что добавки на стадии термического растворения угля полиэтилена, полипропилена, резины на основе бутилового каучука в количестве 25 % (по массе) позволяют увеличить выход и существенно улучшить основные характеристики битумов.

Исследуемый процесс позволяет утилизировать промышленные и бытовые отходы полимерных синтетических материалов и одновременно получать углеводородные продукты с высокими потребительскими характеристиками. Получаемые битумы по основным показателям соответствует требованиям ГОСТ для высококачественных нефтяных битумов, а состав дистиллятных продуктов позволяет рассматривать их в качестве сырья для производства моторных топлив и органических растворителей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- И. М. Руденская, А. В. Руденский, Органические вяжущие для дорожного строительства, Транспорт, Москва, 1984, 228 с.
- Пат. 2051949 РФ, 1996.
- Технология органических веществ. Итоги науки и техники, ВИНТИ, Москва, 1985, т. 10.
- А. с. 1130590 СССР, 1984.
- М. Н. Першин, М. Ф. Никишина, А. П. Архипова, Сланцевые вяжущие в дорожном строительстве, Транспорт, Москва, 1981.
- Д. А. Розенталь, Л. С. Таболина, В. А. Федосова, Модификация свойств битумов полимерными добавками, изд. ЦНИИТЭнефтехим, Москва, 1988.
- А. Сирота, Модификация структуры и свойств полиолефинов, Химия, Ленинград, 1974.
- Эффективные кровельные и гидроизоляционные материалы на основе полимеров: Экспресс-инф., Сер.: Строительство и строительные материалы, изд. БелНИИТИ, Минск, 1981, 11 с.
- О. Л. Федотов, О. А. Фершуков, О. Л. Хрущев, Полимерные материалы в гражданском строительстве на Крайнем Севере, Стройиздат, Ленинград, 1983, с. 96.
- Г. А. Бонченко, Асфальтобетон: Сдвигустойчивость и технология модифицирования полимером, Машиностроение, Москва, 1994, 175 с.
- Битумно-полимерные кровельные и гидроизоляционные материалы, изд. ВНИИЭСМ, 1980, Сер. 6, вып. 2, с. 36.
- Пат. 888825 СССР, 1981.
- А. В. Братчиков, Г. С. Шифрис, Х. Ф. Шарафиев, *Строительные материалы*, 3 (1983) 23.
- А. М. Кисина, *Изв. ВНИИГ им. Веденеева*, 167 (1983) 37.
- И. В. Куценко, IX научные чтения ВТИСМ, Белгород, 1987, ч. 8, с. 60.
- И. А. Посадов, *Коллоид. журн.*, 47 (1985) 315.
- В. И. Шарыпов, Б. Н. Кузнецов, А. В. Головин и др., *Химия в интересах устойчивого развития*, 5 (1997) 201.
- Пат. 2159791 РФ, 2000.
- В. И. Шарыпов, Н. Г. Береговцова, Использование модифицированных железосодержащих катализаторов в гидрогенизации бурого угля и в термokatалитической переработке высококипящих угольных продуктов, 3-й Междунар. симп. "Катализ в превращениях угля", Новосибирск, 1997, т. I, с. 130.
- Битумы нефтяные. Метод определения глубины проникания иглы. ГОСТ 11501–78.
- Битумы нефтяные. Метод определения температуры размягчения по кольцу и шару. ГОСТ 11506–73.
- Битумы нефтяные. Метод определения растяжимости. ГОСТ 11505–75.
- Битумы нефтяные. Метод определения температуры хрупкости. ГОСТ 11507–78.
- Нефтепродукты. Методы определения температур вспышки и воспламенения в открытом тигле. ГОСТ 4333–87.
- И. А. Федоровская, Г. И. Захарова, Объемный микрометод определения: Сб. науч. тр., изд. Ин-та горючих ископаемых, 1962, т. XXI, 150 с.