

откосов, исходя из стадии начала подвижки отдельных частиц, а для крупнозернистого материала, укладываемого в отработанные автомобильные шины, – формула (4), исходя из стадии начала взвешивания частиц.

3. Для защиты откосов от действия волн диаметр частиц каменной наброски, рассчитанный по существующим формулам (5) и (6), имеет большие значения (0,16–0,22 м), и стоимость такого крепления откосов дамб (толщиной 3D) становится значительной. Поэтому менее дорогостоящим является обеспечение устойчивости откосов дамб к действию волн путем сооружения вдоль основной дамбы волногасящей дамбочки (высотой до 1 м) с покрытием ее каменной наброской и посадкой ку-

старниковой растительности, что фактически реализовано при сооружении противопаводковой дамбы в пойме р. Горыни.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Михневич, Э. И.** Определение допускаемых скоростей течения воды в каналах / Э. И. Михневич // Гидротехническое строительство. – 1989. – № 1. – С. 14–18.

2. **Михневич, Э. И.** Методика проектирования креплений каналов на основе эпюр распределения скоростей по ширине русла / Э. И. Михневич // Вестник БНТУ. – 2009. – № 5. – С. 5–8.

3. **Гидротехнические** сооружения комплексных гидротехнических сооружений: учеб. пособие / П. М. Богославчик [и др.]; под общ. ред. Г. Г. Круглова. – Минск: БНТУ, 2006. – 585 с.

Поступила 13.02.2013

УДК 665.7.06:66.02:622.33; 699.82 (035.5)

ТЕХНОЛОГИЯ И ЭКОНОМИКА ПОЛУЧЕНИЯ УГОЛЬНОГО ТЕРМОПЛАСТИФИКАТА – КОМПОНЕНТА ГИДРОИЗОЛЯЦИИ КОНСТРУКЦИЙ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

Докт. техн. наук, проф. ЛЯХЕВИЧ Г. Д., канд. техн. наук, доц. ЛЯХЕВИЧ А. Г.

Белорусский национальный технический университет

Среди всех природных ресурсов сырья органического происхождения запасы углей и горючих сланцев наибольшие. Их доля в балансе естественных органических материалов значительно превышает долю нефти, горючих газов, древесины и других и составляет более 80 % от запасов всего органического сырья. В этой связи твердые горючие ископаемые – горючие сланцы, каменные, бурые, сапропелитовые, кеннельские угли, торф являются неисчерпаемым источником сырья для получения вяжущих, мастик, бетонов и, прежде всего, асфальтобетонов, аглопорита, гидроизоляционных и многих других строительных материалов [1].

Целью исследования авторов является разработка технологии получения из бурых углей угольного термопластификата, используемого для приготовления гидроизоляционных мате-

риалов, применяемых для защиты конструкций мостов и тоннелей.

Технология получения угольного термопластификата. Для разработки технологии получения термопластификата использовался канско-ачинский бурый уголь с характеристиками:

- технический анализ, % мас.: влага W^a 0,81; зола A^c 9,06; сера $S^a_{\text{общ}}$ 0,85, летучие V^r 69,84;

- элементный анализ, % мас.: углерод C^r 64,35; водород H^r 5,46; сера $S^r_{\text{орг}}$ 0,32; азот N^r 1,83; кислород O^r 28,04.

Исследования проводили на установке, обеспечивающей осуществление процесса в углеводородной среде при небольшом повышенном давлении в температурном интервале $((350-360) \pm 5)^\circ\text{C}$. Принципиальная схема установки приведена на рис. 1.

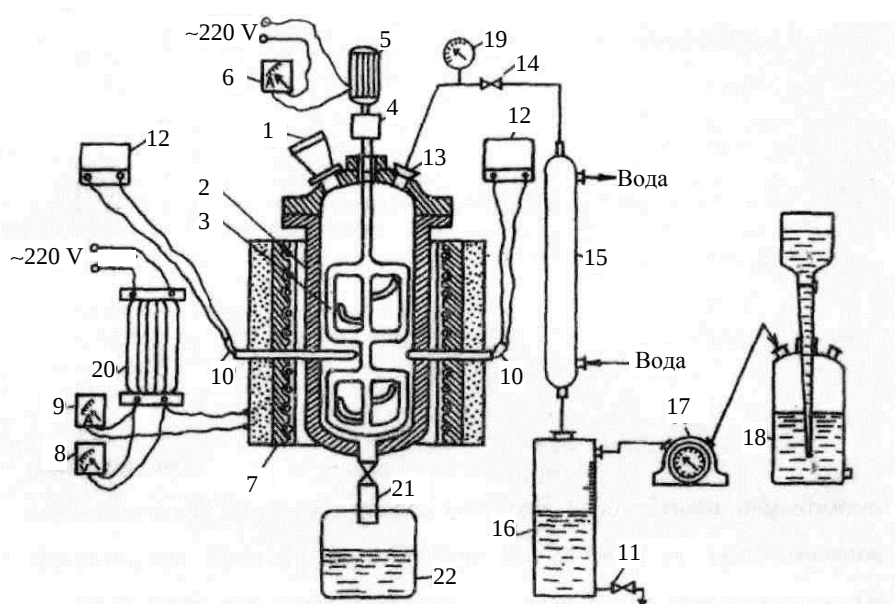


Рис. 1. Схема установки для получения термопластика из бурых углей: 1 – бункер; 2 – реактор; 3 – мешалка-ротор; 4 – редуктор; 5 – электродвигатель; 6 – амперметр, регистрирующий вязкость массы; 7 – электропечь; 8 – вольтметр и 9 – амперметр, контролирующие работу электропечи; 10 – термopара; 11 – вентиль слива жидких продуктов; 12 – потенциометр ПСР-01-03; 13, 14 – штуцер и вентиль парогазовой смеси; 15 – холодильник; 16 – приемник жидких продуктов; 17 – газосчетчик; 18 – газосборник; 19 – манометр; 20 – трансформатор; 21, 22 – штуцер и приемник термопластика

Сырье – измельченный уголь и органическую добавку – загружали из небольшого бункерного устройства в реактор, снабженный мешалкой-ротором со срезающими и спиралеобразными лопастями, которая через муфту и редуктор приводилась во вращение при помощи электродвигателя. Силу тока на электродвигатель определяли амперметром. Нагрев реактора осуществляли электропечью. Напряжение на электропечь регистрировали вольтметром, а силу потребляемого электрического тока – амперметром. Температуру реактора замеряли термopарами в паре с потенциометром ПСР1-05 и милливольтметром. Выделяющиеся в процессе пары и газы через штуцер и вентиль направлялись в холодильник, из которого жидкость поступала и накапливалась в приемнике жидких продуктов, а газ направлялся через газосчетчик в газосборник. Давление в реакторе замеряли манометром. Нагрев электропечи регулировали трансформатором, а вязкость реакционной смеси определяли по амперметру. По достижении конца процесса продукт через штуцер выгружался из реактора в приемник термопластика, заполненный водой. После охлаждения продукт подсушивали в вакуум-

шкафу при температуре 105 °С и остаточном давлении 800 мм H_d .

Получение угольного термопластика осуществляли в углеводородной среде: экстракте селективной очистки масел (ЭСОМ) или смеси отработанных автомобильных масел (СОАМ). Характеристика их представлена в табл. 1.

Таблица 1

Физико-химическая характеристика углеводородных сред

Показатель	ЭСОМ	СОАМ
Плотность при 20 °С, г/см ³	0,9701	0,9087
Показатель преломления n_D^{20}	1,5839	1,5572
Молекулярная масса	342	403
Кислотное число, мг КОН/г	0,23	1,61
Температура, °С:		
вспышки	362	289
застывания	2	-15
Предел кипения, °С	352–498	253–476
Групповой химический состав, мас. %:		
парафино-нафтеновые	12,1	82,5
Циклические ароматические:		
моно-	12,6	9,1
би-	21,8	3,2
поли-	47,9	2,5
смолы	5,6	2,7

В процессе термохимической переработки углей углеводородная среда выполняет роль теплоносителя, растворителя и донора водорода. Основные ее функции сводятся к устранению трудностей, обусловленных низкой теплопроводностью угольного вещества. Это достигается путем проникания нагретой среды в поры, трещины угля и равномерной передачи тепла всей его массе.

Технологический режим и материальный баланс процесса получения термопластификата методом термодеструкции из бурого угля Канско-Ачинского бассейна в углеводородных средах, а также физико-химическая характеристика термопластификата представлены в табл. 2, 3.

Таблица 2
Технологический режим и материальный баланс процесса получения угольного термопластификата

Показатель	Термодеструкция бурого угля Канско-Ачинского бассейна в средах	
	ЭСОМ	СОАМ
Технологический режим		
Температура, °С	360	350
Скорость нагревания, °С/мин	4	3
Выдержка при максимальной температуре нагрева, мин	125	160
Давление, МПа	0,06	0,08
Материальный баланс		
Взято, % мас.:		
уголь	62	65
углеводородная среда	38	35
Получено, % мас.:		
угольный термопластификат	72,3	63,5
углеводородная фракция, выкипающая при температуре выше 28 °С	23,8	25,7
газ	2,5	3,2
потери	1,4	1,6

Изготовление безосновного рулонного гидроизоляционного материала для защиты мостовых и тоннельных конструкций с использованием угольных термопластификатов. Для приготовления композиции использовали: каучуки ЗАО «Каучук» бутадиен-стирольный марки СКС-30 АРКМ-15, ГОСТ I 138–78Е; изопреновый марки СКИ-3, ГОСТ 14925–69;

нефтяной битум марки БН 90/10, ГОСТ 6617–76; минеральный наполнитель – молотый тальк, ГОСТ 19729–74; волокнистый наполнитель – резиновая крошка, ГОСТ 8407–89; угольный термопластификат (табл. 3) – многофункциональный компонент, а именно: упрочняющий, пластифицирующий, стабилизирующий гидроизоляционный материал.

Таблица 3
Физико-химические свойства угольных термопластификатов

Показатель	Термопластификаты получены из канско-ачинского бурого угля в углеводородной среде	
	ЭСОМ	СОАМ
Плотность, г/см ³	1,1534	1,1496
Зольность, мас. %	8,79	8,65
Летучие V ^r	62,7	63,2
Углерод C ^r	87,15	87,39
Водород H ^r	6,97	7,01
Сера S ^r _{орг}	0,58	0,54
Азот N ^r	1,53	1,46
Кислород O ^r	6,12	6,41
Степень пластификации, %	54,8	58,7
Молекулярная масса бензольного экстракта	598	585

Изготовление композиции для гидроизоляционного материала осуществляли на вальцах с коэффициентом фрикции 1:1,15. Температура валков, в °С: переднего – 50–55, заднего – 85–95. На вальцы загружали бутадиен-стирольный, изопреновый каучуки, а затем тальк, волокнистый наполнитель, резиновую крошку, угольный термопластификат, нефтяной битум. Массу вальцевали, каландровали и полученный гидроизоляционный материал испытывали. Результаты этих испытаний представлены в табл. 4.

Испытания показали высокие физико-механические свойства как образцов гидроизоляционных материалов, содержащих 25–45 % угольных термопластификатов, полученных из канско-ачинских бурых углей в среде экстракта селективной очистки масел, так и образцов гидроизоляционных материалов, содержащих 25–45 % угольных термопластификатов, полученных из этих же углей в среде смеси отработанных автомобильных масел.

Таблица 4

Физико-механическая характеристика безосновных рулонных гидроизоляционных материалов, содержащих угольный термопластификат

Наименование показателя	Значение показателя				
	Бризол БРЭ ТУ 381051819–88	ГИМ-25УП- ЭСОМ*	ГИМ-45УП- ЭСОМ**	ГИМ-25УП- СОАМ***	ГИМ-45УП- СОАМ****
Условная прочность при растяжении, МПа, не менее	0,6	1,38	2,26	1,24	1,97
Относительное удлинение при разрыве, %, не менее	20	86,7	53,5	92,9	64,1
Водопоглощение за (24 + 0,5 ч), %, не более	0,5	0,14	0,16	0,12	0,13
Эластичность, количество двойных перегибов, не менее	20	62	48	75	56
Гибкость на стержне диаметром 10 + 1 мм, при температурах –20 °С	Не должно быть трещин	Трещины отсутствуют	Трещины отсутствуют	Трещины отсутствуют	Трещины отсутствуют
* Гидроизоляционный материал, содержащий 25 % угольного термопластификата, полученного в среде экстракта селективной очистки масел. ** Гидроизоляционный материал, содержащий 45 % угольного термопластификата, полученного в среде экстракта селективной очистки масел. *** Гидроизоляционный материал, содержащий 25 % угольного термопластификата, полученного в среде смеси отработанных автомобильных масел. **** Гидроизоляционный материал, содержащий 45 % угольного термопластификата, полученного в среде смеси отработанных автомобильных масел.					

Экономический эффект использования угольных термопластификатов в процессе изготовления гидроизоляционных материалов. Техничко-экономические расчеты показали, что производство термопластификата на основе канско-ачинских бурых углей означает существенное снижение себестоимости, по сравнению с термопластификатом, производимым на основе каменных углей [1]. За счет использования в качестве сырья более дешевых бурых углей себестоимость термопластификата может быть снижена на 29,8 %, что даст экономию 374000 бел. руб. на 1 т. При этом имеющиеся технологические решения позволяют использовать более дешевое сырье (бурые угли), не оказывая негативное влияние на качество выпускаемой продукции. Также необходимо отметить, что в ближайшее время в Беларуси планируется освоение собственных месторождений бурых углей. Общие разведанные запасы Тонезского, Бриневского и Житковичского месторождений по разным оценкам составляют около 150–160 млн т. Использование белорусского сырья при производстве термопластификата позволит существенно уменьшить транспортные расходы, что приведет к дальнейшему снижению себестоимости продукции. Кроме

того, повысится стабильность поставок, не зависящих от влияния внешнеэкономических и страновых рисков. Мощная местная сырьевая база создает основу для динамичного и устойчивого развития предприятия в долгосрочном периоде. Переработка белорусского сырья внутри республики будет иметь существенное значение и для экономики в целом – на экспорт станет поставляться не сырье, а готовая продукция, содержащая в себе значительную добавленную стоимость.

Использование угольных термопластификатов в процессе изготовления гидроизоляционных материалов для защиты мостовых и тоннельных конструкций будет способствовать увеличению долговечности и эксплуатационной надежности мостов и тоннелей. Повышение долговечности гидроизоляционных материалов позволяет увеличить межремонтный период для указанных сооружений, что приведет к значительной экономии материальных и трудовых ресурсов. При имеющемся улучшении эксплуатационных характеристик гидроизоляционных материалов удлинение межремонтного периода между капитальными и планово-предупредительными ремонтами не будет требовать соответствующего увеличения объе-

ма и затрат ремонтных работ, что позволит снизить расходы на содержание и эксплуатацию мостовых и тоннельных конструкций. Также следует отметить, что ремонт мостов и тоннелей существенно уменьшает их пропускную способность, а в ряде случаев приводит к необходимости организации объезда места ремонта по более протяженному маршруту, что приводит к увеличению расхода топлива на доставку грузов. В этой связи увеличение межремонтного периода мостовых и тоннельных конструкций, т. е. сокращение процента времени пребывания указанных конструкций в ремонте, обеспечит экономию затрат грузоперевозчиков.

Технологические решения, положенные в основу процесса производства угольных термопластификатов, создают базу для проведения дальнейших исследований по получению из термопластификата красок высокого качества. Иными словами, данная технология содержит в себе основу для реализации последующих высокоэффективных проектов, или, в терминах теории реальных опционов, – опцион роста. Указанный опцион роста создает дополнительный экономический эффект за счет обеспечения возможностей стратегического развития предприятия: выхода на новые рынки сбыта, выпуска новой высокорентабельной продукции, обеспечения сохранения требуемого уровня рентабельности в случае колебаний цен на исходное сырье и, как следствие, обеспечения устойчивого развития и сохранения конкурентоспособности предприятия в долгосрочной перспективе.

Производство угольных термопластификатов способно решить и важную экологическую

проблему. Так, одним из компонентов в процессе производства выступает отработанное масло (до 19 % в структуре исходного сырья). Отработанные нефтяные масла являются одним из существенных источников загрязнения окружающей среды. По некоторым оценкам, их слив в почву и водоемы превышает по объему аварийные сбросы и потери нефти при ее добыче, транспортировании и переработке. Ущерб от последствий таких загрязнений, а также затраты на мероприятия по ликвидации их последствий весьма значительны. В этой связи утилизация отработанных масел в процессе производства угольных термопластификатов способна не только решить проблемы экологии, но и принести экономический эффект.

ВЫВОД

Разработана технология получения угольного термопластификата из канско-ачинских бурых углей в углеводородной среде. Угольный термопластификат использован для приготовления гидроизоляционных материалов, высокие физико-механические показатели которых, а также технико-экономические расчеты подтвердили возможность использования термопластификата для защиты конструкций мостов и тоннелей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ляхевич, Г. Д. Технология термопластификации сапропелитовых и каменных углей / Г. Д. Ляхевич, А. Г. Ляхевич. – Минск: БНТУ, 2009. – 215 с.

Поступила 08.02.2013