

ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ

Г. К. Лобачева

В связи с накоплением в развитых странах огромного количества резиновых отходов, в особенности изношенных автомобильных шин, одной из важнейших задач является создание приемлемой с точки зрения охраны окружающей среды технологии их утилизации. Необходимо отметить, что резиновые отходы практически не подвержены разрушению под воздействием климатических и временных факторов.

Существующие в настоящее время технологии переработки резиновых отходов (пиролиз, получение резиновой крошки, сжигание в цементных печах и т. д.) отличаются высокой энергоемкостью, необходимостью применения дорогостоящих жаропрочных материалов и, самое главное, отрицательным воздействием на окружающую среду.

В настоящее время в мире ежегодно накапливается около 6—6,5 млн т только изношенных автомобильных шин, а количество подвергающихся переработке изношенных автошин весьма мало и составляет лишь около 20% ежегодного их накопления.

Высокоразвитые страны прилагают значительные усилия к созданию экологически безопасных технологий и оборудования для переработки данного вида отходов. Это вызвано в первую очередь угрожающим для окружающей среды ростом накоплений резиновых отходов, в особенности изношенных автомобильных шин.

Однако до настоящего времени ни одной из стран мира не удалось окончательно решить проблему переработки изношенных шин.

В ряде стран изношенные шины используются в качестве топлива для получения энергии, а также в цементной промышленности, однако такие направления использования являются неэффективными, поскольку не позволяют в полной мере реализовать те ценные материалы, которые содержатся в шинах.

Резиновые отходы целесообразно перерабатывать таким образом, чтобы одновременно с решением проблемы их уничтожения получать ценные сырьевые и энергетические ресурсы.

Предлагаемый проект направлен на решение этой актуальной задачи путем разработки новой экологически чистой энергосберегающей технологии переработки резиновых отходов в топливно-энергетические и сырьевые ресурсы.

В отличие от существующих технологий, обладающих высокой энергоемкостью, требующих

оборудования из жаропрочных сталей, дающих высокие выбросы вредных веществ, разрабатываемая технология позволит перерабатывать резиновые отходы всех видов с одновременным получением альтернативного жидкого топлива и технической сажи.

Получаемое альтернативное жидкое топливо по своим показателям соответствует высококачественному мазуту, моторному топливу, а из технической сажи при незначительной доработке может быть получен активированный уголь.

Общая стоимость разработки технологии и ее испытание на опытной установке составит 1 млн дол. США.

Постановка проблемы

Резиновые невулканизированные отходы, включающие в себя непригодные для прямого использования резиновые смеси, остатки резиновых смесей, ценным компонентом которых является каучук, перерабатываются путем сортировки, очистки от посторонних включений, обработки очищенных отходов на смесительных вальцах и возврата полученной смеси в производство резины. Резиновые вулканизирующие отходы, образующиеся на стадиях вулканизации и отделки готовой продукции, а также бракованные изделия перерабатываются на резиновую крошку, которая применяется на предприятиях как добавка к исходному сырью.

Резинотканевые невулканизированные отходы, содержащие остатки прорезиненных тканей, а также бракованные изделия перерабатываются путем сортировки, измельчения и последующего использования в качестве добавок к исходному сырью или в производстве изделий.

Резинотканевые вулканизированные отходы, представляющие собой остатки от штамповки и отделки готовых изделий, а также бракованные изделия перерабатываются путем измельчения и использования в качестве добавок при производстве строительных материалов и бытовых товаров.

Особый класс резиновых отходов составляют отходы шинной промышленности, а также изношенные шины. Основными возможными направлениями утилизации таких отходов являются: использование крошки для дорожного строительства, производства гидроизоляционных, строительных и технических материалов; получение технических продуктов методом пиролиза

за; получение тепла путем сжигания изношенных шин в специальных котлоагрегатах.

В изношенных шинах содержится не только резина, свойство которой сравнительно ближе к первоначальному, но и большое количество армирующих (текстильных и металлических) материалов, использование которых позволит сэкономить дорогостоящее сырье.

В США, ФРГ, Австралии, Японии и ряде других стран из изношенных шин создают плавающие волнорезы, сооружают гидротехнические объекты, строят мосты через малые реки, ручьи и овраги, прокладывают водопроводные трубы под авто- и железнодорожные насыпи и т. д.

Длительное время значительную экономию каучука и других составляющих резиновых смесей в шинной промышленности, промышленности РТИ и резиновой обуви обеспечивало применение регенерата, получаемого из резиносодержащих отходов, главным образом изношенных шин.

Однако в последние годы как за рубежом, так и в странах СНГ производство регенерата и его объемы использования резко сокращаются. Коренное изменение ситуации в области производства и применения регенерата вызвано следующими причинами: непрерывный рост требований к эксплуатационным свойствам резиновых изделий; недостаточно высокое качество регенерата; увеличение объемов применения пластических масс вместо каучуков для производства резинотехнических изделий; вытеснение регенерата резиновой крошкой, особенно модифицированной; увеличение затрат на производство регенерата в связи с необходимостью перерабатывать шины с металлокордом; наличие каучуков, успешно конкурирующих по цене с регенератом, и др.

В США, Западной Европе, Японии из изношенных шин с текстильным и металлическим кордом получают резиновую крошку.

Дробление изношенных шин без вырезки или после вырезки из них бортовых колец производится при положительных температурах, а также криогенным способом. Наряду со стационарными установками используются мобильные установки, измельчающие шины при положительных температурах или с применением жидкого азота в местах их хранения, на свалках и т. п.

Резиновая крошка, которую получают из изношенных шин, применяется в резиновых смесях различного назначения, в том числе при изготовлении обуви, массивных шин и протеторов, резиновых покрытий, линолеумов, спортивных матов, получения композитных материалов и др.

В США, Франции, Бельгии, Австрии, Японии получены хорошие результаты по приме-

нению резиновой крошки в дорожных покрытиях: значительно повышается износ- и морозостойкость, снижается шумообразование, увеличивается срок службы, сокращается тормозной путь. Резиносодержащий асфальт почти 30 лет применяется в США в штатах Аризона, Калифорния, Техас.

Использование резиновой крошки при строительстве дорог считается перспективным во Франции, США, Великобритании. При этом оптимальной технологией изготовления асфальтобетонных смесей является приготовление резинобетонного вяжущего с использованием предварительно набухшей в сланцевом мягчителе резиновой крошки и последующее смешение вяжущего с минеральными составляющими асфальтобетона.

Широкое применение резиновой крошки в дорожных покрытиях сдерживается высокой (на 10–100%) ценой резиноасфальта. В то же время некоторые считают, что высокая стоимость резиноасфальта не соответствует его техническим преимуществам и что для обеспечения конкурентоспособности он должен быть дороже обычного асфальта не более чем на 10%.

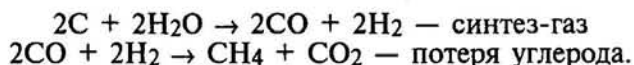
В ряде стран (США, Япония, Германия, Швейцария и др.) довольно длительное время эксплуатируются опытно-промышленные установки по пиролизу резиносодержащих отходов мощностью 7–15 тыс. т в год.

Пиролиз резиносодержащих отходов осуществляется в среде с недостатком кислорода, в вакууме, в атмосфере водорода, в эвтектической смеси хлоридов лития и натрия, в реакторах периодического и непрерывного действия, в псевдосжиженном слое при различных температурах.

В настоящее время на основании результатов работ по пиролизу, выполненных за рубежом и в СНГ, нельзя сделать обоснованный вывод об экономической и экологической целесообразности широкомасштабного использования той технологии для переработки резиносодержащих отходов.

С точки зрения экологии использование изношенных шин в качестве топлива оценивается неоднозначно. Это обусловлено выделением при сжигании шин в атмосферу соединений цинка, титана, окислов кремния. Метод неперспективен также и с энергетической точки зрения: с учетом КПД при сжигании легковой шины количество энергии примерно равно получаемому от сжигания 3 л нефти. По данным изготовителей, энергия, накопленная в шине, равна энергии, которая может быть получена от сжигания нефти. При этом создание специальных печей и очистных сооружений для улавливания вредных газов и соединений тяжелых металлов требует больших затрат.

Одним из главных недостатков переработки резиновых отходов путем сжигания является тот факт, что при сжигании изношенных шин уничтожаются ценные химические вещества, содержащие связи С-Н, которые в случае использования угля в качестве исходного материала (уголь — перспективный сырьевой материал) могут образоваться только лишь при значительных потерях углерода:



Известен неудачный опыт сжигания шин с целью получения энергии. Компания «Оксфорд Энерджи» построила в г. Модесте, штат Калифорния, установку для сжигания изношенных шин. В 1989 году она принесла компании убытки. Завод в г. Модесте обошелся компании в 40 млн дол. Стоимость 1 кВт/час производимой электроэнергии составляет 8,5 цента, значительно (примерно в 2 раза) выше стоимости энергии, получаемой на ТЭЦ газа и мазута.

Оценка перспективности использования изношенных шин в качестве топлива в цементной промышленности неоднозначна. Известно, что «Джуря цемент уоркс» (Швейцария) в 1989 году прекратила сжигание шин в цементных печах из-за загрязнения окружающей среды продуктами сгорания. Вопрос об использовании изношенных шин в цементной промышленности США будет решаться по результатам соответствующих испытаний.

В Японии применение шин прекратится из-за дополнительных расходов на содержание обслуживающего персонала.

Экономичным и оптимальным с экологической точки зрения способом использования изношенных шин является их восстановление. Известно, что восстановление одной легковой шины дает экономию 16 кг, а грузовой 76 кг нефти. Однако для восстановления пригодно весьма малое количество шин. В последние годы на развитие шиноремонтной промышленности в США и Западной Европе сильное влияние оказывает импорт дешевых новых шин из азиатских стран, который существенно снижает уровень цен на рынке. Хотя восстановленные шины обеспечивают экономию сырья и имеют низкую стоимость, определенные проблемы с их реализацией связаны с отношением потребителей к этим изделиям, в связи с чем объем их продажи снижается.

Анализируя используемые способы переработки изношенных шин, можно прийти к заключению, что на ближайшие годы наиболее перспективными являются термические методы переработки. Особенно перспективно развитие таких термических методов, которые позволят вернуть в промышленность ценные исходные

компоненты, из которых состоят шины: нефтехимическое сырье, топливо (масло), технический углерод, металл. Предполагаемая технология переработки резиновых отходов позволяет при минимальных энергозатратах и выбросах в окружающую среду перерабатывать отходы резинотехнической промышленности и изношенные автомобильные шины.

В результате переработки автомобильных шин получают следующие ценные продукты:

- альтернативное жидкое топливо, по своим техническим характеристикам соответствующее топочному мазуту марки М40, — 40—50% от массы загрузки;

- пирокарбон (техническая сажа) — 45—35%;

- газообразные углеводороды — 6—5%;

- металл (лом) — 9—10%.

Как показали предварительные исследования, жидкие углеводороды могут быть использованы как топливо, связующие добавки к асфальту, а также при производстве битумных и гидроизоляционных мастик. Из углеродсодержащего остатка (пирокарбона) при незначительной доработке может быть получен активизированный уголь. Газообразные углеводороды дожигаются в топке парогенератора.

В настоящее время на заводе «Моссантех-пром» действует опытно-промышленная установка по переработке резиновых отходов и изношенных автомобильных шин производительностью 300 кг исходного сырья в час.

Кроме того, НПФ «Экология-Энергетика» при участии автора статьи разработали технологическую документацию на строительство полностью автоматизированной установки для переработки резиновых отходов производительностью 7000 т исходного сырья в год.

Общий замысел и основные идеи проекта

Предлагаемая к разработке технология и техника позволят практически полностью исключить недостатки вышеописанных методов и перерабатывать резиновые отходы всех видов с получением (в зависимости от потребностей) топлива либо исходных составляющих (сажа, регенерат, пластификаторы), используемых при производстве резины и в других отраслях промышленности (строительство, металлургия, дорожное строительство).

Сущность метода, который будет положен в основу создаваемой технологии, заключается в специальной термической обработке резиновых отходов, в результате чего протекает деструкция резины с образованием твердой, жидкой и газообразной фаз.

Перспективным представляется направление переработки резиновых отходов, позволяющее не только решать проблему уничтожения отхо-

дов, но и получать ценные сырьевые и энергетические ресурсы. Такое направление развивается и основано на паротермической деструкции резиновых отходов в среде перегретого пара.

Сущность технологии состоит в следующем.

В реактор одновременно подаются резиновые отходы, например изношенные покрышки, и перегретый водяной пар. При температуре в реакторе 400—500°C протекает деструкция резиновых отходов. Газы деструкции вместе с водяным паром попадают в конденсатор, где происходит конденсация пара и части газообразных продуктов. Неконденсирующиеся газы направляются на дожигание в топке парогенератора. Сконденсированный пар и продукты деструкции отходов из конденсатора направляются в накопительную емкость. Твердый остаток деструкции направляется в мельницу, где осуществляется его размол. Получаемая в результате переработки жидкая фракция по своим техническим характеристикам полностью соответствует топочному мазуту марки М40.

Важным направлением использования продуктов переработки резиновых отходов является возможность использования их в качестве исходного сырья для резиновой промышленности (масломягчители, техуглерод и пр.), промышленности нефтеоргсинтеза, в дорожном строительстве для производства битумных эмульсий и мастик.

Предварительные эксперименты по специальной термической обработке образцов отходов автомобильных шин на опытном стенде показали, что в образующиеся продукты входят:

- 30—35% — жидкие углеводороды;
- 6—5% — газообразные углеводороды;
- 58—50% — углеродсодержащий остаток (пирокарбон);
- 6—10% — металл.

Жидкие углеводороды представляют собой жидкость темно-коричневого цвета с характерным для продуктов переработки нефти запахом.

Определение фракционного состава жидких продуктов проводили по ГОСТ 1392-83. Результаты приведены ниже:

- начало кипения — 105°C;
- фракция 105—145 — 35%;
- фракция 145—170°C — 25%;
- вязкий остаток — 170°C — 40%.

Углеродсодержащий остаток представляет собой твердое вещество черного цвета. Плотность образца составила 1780 кг/м³. Содержание углерода до 90%.

При термообработке резиновых отходов количество образующихся газов достигает 5—6%. Образующихся газов достаточно для энергообеспечения процесса термообработки отходов. При переработке резиновых отходов образуется твердая фаза, которая представляет собой пирокарбон. Пирокарбон может быть использован для производства сорбционных материалов, может применяться в металлургической промышленности в качестве заменителя аморфного графита, может возвращаться в производство резины.

Образующаяся жидкая фаза, как показывают исследования, представляет собой готовый масломягчитель для резиновой промышленности.

Эксперименты показывают, что данное направление представляется перспективным для разработки новой технологии переработки резиновых отходов.

Одним из основных недостатков известных технологий переработки резиновых отходов являются большие выбросы вредных веществ в окружающую среду, необходимость предварительной сортировки и измельчения отходов, низкая энергетическая и экономическая эффективность, высокая пожаровзрывоопасность и низкое качество получаемых продуктов переработки.

Разрабатываемая технология позволит существенно снизить или практически полностью предотвратить выбросы вредных веществ в атмосферу, гидросферу, достичь высокой энергетической эффективности как за счет рециркуляции тепла, так и путем использования части продуктов термической деструкции отходов для энергообеспечения процесса, обеспечить переработку отходов без предварительной сортировки и измельчения их, осуществить простое аппаратное оформление (большинство узлов установки составляет стандартное серийное оборудование) процесса переработки, обеспечить высокую пожаровзрывобезопасность.

Описание проекта

Целью настоящего проекта является разработка и внедрение принципиально новой экологически чистой энергосберегающей технологии

Таблица 1

Свойства продуктов переработки	
Показатели	Величины
Плотность при 15°C, кг/м ³	956
Вязкость, сСт	
при 50°C	10,8
при 100°C	6,2
Температура застывания, °C	12
Влажность, %	0,14
Температура вспышки в закрытом тигле, °C	200
Содержание серы, %	1,07
Анилиновая точка, °C	35,2
Теплота сгорания, кДж/кг	43400
Вязкостно-весовая константа	0,958

переработки резиновых отходов в топливно-энергетические и сырьевые ресурсы.

При реализации проекта предполагается осуществить разработку технологии и аппаратурно оформить ее в виде мобильной установки для переработки отходов на местах складирования.

В отличие от существующих технологий и техники разрабатываемая технология и создаваемая техника позволят наиболее эффективно использовать ценные свойства материалов, содержащихся в резиновых отходах, путем выделения этих материалов из отходов и возврата их в производство в качестве подготовительного сырья, в результате чего будет достигаться полная утилизация резиновых отходов.

В ходе выполнения проекта необходимо последовательно решить следующие задачи:

1. Разработать и оптимизировать технологическую схему процесса переработки резиновых отходов в парогазовой среде.

2. Осуществить конструктивно-аппаратурное оформление технологической схемы процесса переработки резиновых отходов в парогазовой среде.

3. Отработать на опытном оборудовании технологический процесс переработки резиновых отходов.

В перспективе предполагается на основании полученного опыта при реализации проекта создать и ввести в действие в период до 2000 г. 150—180 мобильных и стационарных установок единичной мощностью 2500—5000 т/год.

Ресурсы для выполнения проекта

НПФ «Экология-Энергетика» обладает опытом выполнения подобных проектов и располагает штатом необходимых специалистов, оборудованием, помещениями.

Для реализации проекта потребуется приобретение материалов и комплектующих для изготовления мобильной установки.

Для выполнения работ по проекту потребуются привлечь специалистов в области переработки резиновых отходов.

Изготовление установки будет осуществлено на производственной базе НПФ «Экология-Энергетика» и путем размещения заказов по кооперации на конверсионных и других машиностроительных предприятиях.

Для оплаты труда специалистов, приобретения необходимого оборудования НПФ «Экология-Энергетика» намеревается получить от Банка реконструкции и развития финансирование в размере 1 млн дол. США, что составляет 50% общей сметной стоимости проекта.

Остальные 50% финансовых ресурсов НПФ «Экология-Энергетика» планирует обеспечить за счет собственных средств.

Бюджет проекта

№ п/п	Наименование статей	Цена, тыс. дол. США
1	Основная заработная плата	200,0
2	Начисления на заработную плату, 36%	72,0
3	Материалы и оборудование	1408,0
4	Командировочные расходы	20,0
5	Оплата научных и экспериментальных работ, выполняемых на стороне	100,0
6	Накладные расходы	150,0
7	Прочие расходы	50,0
	Итого	2000,0

Судьба проекта после окончания его финансирования

Успешная реализация проекта позволит начать вытеснение устаревших технологий переработки резиновых отходов. Поскольку в настоящее время проблема полной переработки резиновых отходов не решена, то реклама на рынке технологий новой экологически чистой безотходной технологии позволит привлечь коммерческие и государственные структуры для финансирования широкого внедрения созданной технологии.

Только в Российской Федерации необходимо перерабатывать около 1,4 млн т изношенных шин и резиновых отходов.

Для реализации указанного сырьевого потенциала необходимо ввести в действие 150—180 мобильных и стационарных установок.

Уже в настоящее время в НПФ «Экология-Энергетика» обращаются представители предприятий, у которых накапливаются резиновые отходы, с предложениями о приобретении установок по переработке резиновых отходов.

Модернизация данной технологии позволит в перспективе создать новую технологию утилизации пластмассовых отходов.

Высокотемпературное обезвреживание супертоксикантов

(по методу акад. А. И. Пануши)

В результате конверсии ракетно-космической техники в интересах экологии в Центральном НИИ машиностроения Российского космического агентства отработана высокотемпературная технология и создан промышленный модуль установки для обезвреживания супертоксичных веществ. К категории супертоксикантов

относятся: РСВ, запрещенные к использованию пестициды, химическое оружие и т. п.

Сущность технологического процесса базируется на термохимическом методе преобразований обезвреживаемого вещества, включающих ряд последовательных стадий: высокотемпературное разложение ($T = 2000\text{--}3500^\circ\text{C}$), доокисление и химическое связывание элементов разложения, многозвенная система нейтрализации и улавливания конечных малотоксичных химических соединений. По характеру физико-химических процессов реализуемый термический режим занимает промежуточное положение между обычным сжиганием ($T < 1500^\circ\text{C}$) и плазменным обезвреживанием с характерным температурным уровнем порядка десятков тысяч градусов. Этот рабочий диапазон позволяет устранить принципиальный недостаток, присущий обычному сжиганию, выражающийся в образовании высокотоксичных промежуточных соединений типа диоксинов. С другой стороны, удается избежать основных недостатков плазменного метода, связанных с чрезвычайной сложностью и дороговизной технологического процесса. По комплексу экологических, энергетических и экономических показателей отработанный технологический процесс позволяет приблизиться к оптимальному решению.

Технологическое воплощение установки осуществлено на принципах создания ракетной техники, в связи с этим ее технический облик принципиально отличается от мусоросжигательных печей или реакционных камер плазменного обезвреживания, в которых основные процессы проходят по условной схеме «горение в объеме». В созданной установке основные исполнительные органы (камера сгорания РД, реакционная камера, абсорбер) расположены в последовательной цепи и работают по схеме организации процессов в высокоскоростном движущемся потоке. В качестве комплектующих элементов использованы готовые узлы и агрегаты РД. Это позволило обеспечить электронасыщенность, малые габариты и высокую степень автоматизации в управлении созданной установкой. При производительности до 1 т/час обезвреживаемого вещества ее габариты составляют $6 \times 1,8 \times 1,5$ м.

Результаты работы содержат весь комплекс последовательных стадий создания установки и отработки на ее основе технологического процесса. Испытаниям подвергались образцы основных видов (хлор-, фтор-, серо-, фосфорсодержащих) токсичных соединений. На заклю-

чительном этапе работ обезвреживанию подвергались: ТХД (класс РСВ); пестициды: ГХЦГ, ДДТ, дихлофос и карбофос, а также дезинфицирующая жидкость на фенольной основе. По основным экологическим показателям, таким, как систематические результаты, получены уровни концентраций в выхлопных газах: $\text{HCl} - 14 \text{ мг/м}^3$, при допустимой норме $[30 \text{ мг/м}^3]$; $\text{HF} - 0,14 \text{ мг/м}^3$ $[2 \text{ мг/м}^3]$, $\text{SO}_2 - 30 \text{ мг/м}^3$ $[50 \text{ мг/м}^3]$; $\text{PH}_3 - 0,23 \text{ мг/м}^3$.

По результатам анализа проб поглощающего раствора и твердого осадка концентрация диоксинов укладывается в допустимые нормы.

Для обезвреживания наиболее распространенных токсикантов ТХД и ГХЦГ в пересчете на 1 т обезвреживаемого вещества требуется: технического кислорода **300—400 кг**, керосина (дизельного топлива) **30—40 кг**, негашеной извести **400—600 кг**, карбамида **10—20 кг**, охлаждающей воды **3—4 т**.

Практическое обслуживание установки осуществляют 3 человека. Эти затраты составляют основные статьи расходов, которые, по грубым оценкам, многократно ниже, чем для существующих промышленных аналогов.

Перспективы использования результатов разработок. Совокупность полученных результатов позволила приступить к созданию промышленных объектов в России в интересах электротехнических отраслей (обезвреживание РСВ) и агрохимического комплекса (запрещенные пестициды). Высокая производительность установки при соблюдении экологических нормативов, ее экономичность, малые габариты, оснащенность готовыми узлами из сокращаемого ракетного вооружения и др. открывают новые возможности в решении самой острой и сложной проблемы современной экологии — обезвреживании супертоксикантов. Предполагается создание следующих разновидностей установок:

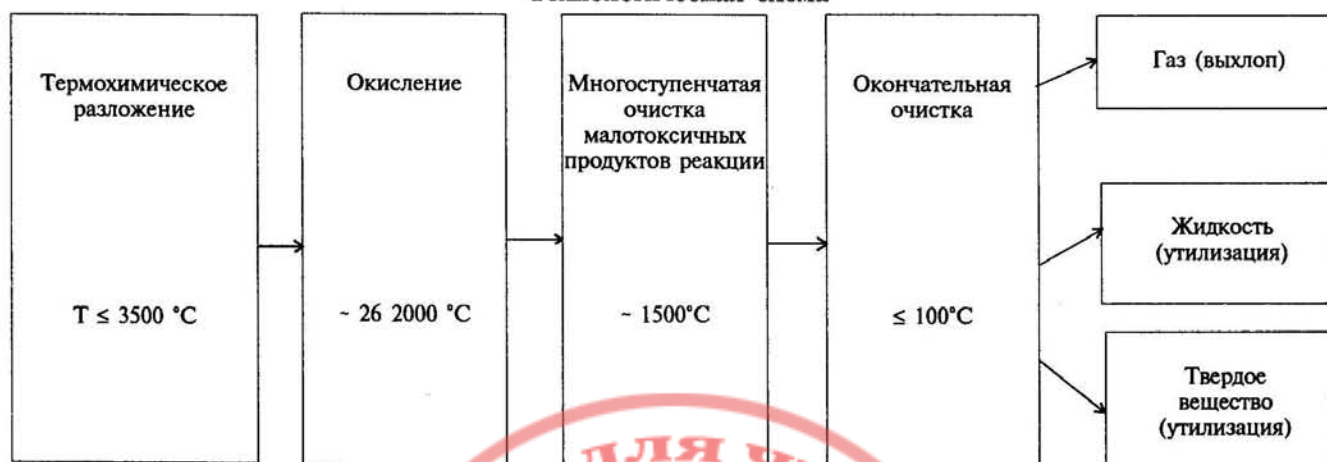
- по типам: мобильные установки и дооснащение стационарных комплексов;
- по назначению: уничтожение отравляющих веществ, обезвреживание РСВ и пестицидов;
- по масштабу: малые, средние, крупные.

Кроме перечисленных супертоксикантов экономически целесообразным может оказаться использование технологии машиностроения, медицинской и фармацевтической промышленности и др.

Сотрудничество по внедрению разработок может осуществляться как на основе межгосударственных соглашений, так и прямого взаимодействия между фирмами.

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ УСТАНОВКА НА БАЗЕ РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Технологическая схема



Основные характеристики

Производительность: 1 т/час обезвреживаемого вещества.

Расходы компонентов на 1 т обезвреживаемого вещества: кислород (технический) ≤ 400 кг, керосин ≤ 40 кг, известь ≤ 500 кг.

Габариты: 6,0х1,8х1,5 м (возможен мобильный вариант исполнения).

Экологические показатели удовлетворяют наиболее строгим международным нормам: HCl — 14 мг/м (при допустимой норме 30 мг/м³), HF — 0,14 мг/м³ (2 мг/м³), SO₂ — 30 мг/м³ (50 мг/м³).

По результатам анализа проб поглощающего раствора и твердого осадка концентрация диоксинов укладывается в допустимые нормы.

Область применения: обезвреживание химического оружия, запрещенных к использованию пестицидов, полихлорбифенилов и др.

Высокотемпературное обезвреживание супертоксикантов

Основные виды супертоксикантов в России

Запрещенные к использованию пестициды 14,4 тыс. т (агрохимия).

Полихлорбифенилы — сотни тыс. т (энергетика, машиностроение и др.) (в Европе 660 тыс. т).

Химическое оружие (Минобороны) 40 тыс. т.

Страны, располагающие техникой и технологией промышленного обезвреживания супертоксикантов

США — два экспериментально-промышленных комплекса по уничтожению химического оружия, выполненных по схеме обычного сжигания в печах (атолл Джонстон, штат Юта).

Германия — экспериментальный комплекс плазмохимической переработки химического оружия (г. Мюнстер).

Россия — экспериментальная высокотемпературная установка (ЦНИИМАШ РКА) и промышленный модуль (АО «Рязаньагрохим» Минсельхозпрод) на базе ракетного двигателя для обезвреживания запрещенных к использованию пестицидов.

Таблица 1

Основные показатели развивающихся технологий

Основные показатели	Плазмо-химическая переработка	Обычное сжигание	Высокотемпературное обезвреживание
Температурный режим, °C	10000	1500	3500
Экологическая безопасность	Высокая	Наличие диоксинов	Высокая
Стоимость установки, млн дол. США	20—25 и более	5—7	Не более 2
Стоимость утилизации 1 т вещества типа РСВ, дол. США	1800—2300	500—1000	300

Таблица 4

Результаты экспериментальной отработки технологии высокотемпературного обезвреживания супертоксикантов на установке У-9ТМ в 1992—1996 гг.

Принцип техпроцесса		Вид вещества	Модельное вещество	Химическая формула	Токсичное вещество	Химическая или условная формула	Отраслевая принадлежность веществ
Плазмохимическое обезвреживание	Высокотемпературное сжигание	Cl	Четыреххлористый углерод	CCl ₄	Трихлордифенил СОВТОЛ ГХЦГ ДДТ	C ₁₂ H ₇ Cl ₃ C ₁₂ H ₁₀ Cl ₃ + C ₆ H ₃ Cl ₃ C ₆ H ₆ Cl ₆ C ₁₄ H ₉ Cl ₅	Электротехнические изделия АГРОХИМ
		F	Фреон 114B2	C ₂ Br ₂ F ₄	—	—	—
	В камере сгорания кислородно-керосинового РД	P	Раствор однозамещенного фосфата калия	KH ₂ PO ₄	НГЖ-4 (дибутилфенилфосфат) Хлорофос	C ₁₄ H ₂₃ O ₄ P	C ₄ H ₈ O ₄ Cl ₃ P
		S	Раствор сернокислого магния	MgSO ₄	Карбофос	C ₁₀ H ₁₉ O ₆ PS ₂	АГРОХИМ
		P-S	Смесь: карбофос ксилол аммиак водный каустик	C ₁₀ H ₁₉ O ₆ PS ₂ CH ₁₀ NH ₄ OH NaOH	Реакционная масса	C ₃₃ H ₉₂ O ₄ S ₂₇ N ₂₅ P ₃ H ₂ O C ₇₀ H ₁₅₂ NaOH	Химическое оружие
		P-F	Смесь: хлорофос ортофосфорная кислота аммиак водный каустик	C ₄ H ₈ O ₄ Cl ₃ P H ₃ PO ₄ NH ₄ OH NaOH	То же	C ₃₅ H ₁₀₁ O ₁₃₆ P ₂₈ F ₂₈ N ₈	То же

Таблица 5

Результаты химического анализа контролируемых веществ выхлопного газа установки У-9ТМ

Контролируемое вещество	Химическая формула	Концентрация в выхлопных газах, мг/м ³	Нормативы Великобритании, мг/м ³
Хлор молекулярный	Cl ₂	6	—
Хлористый водород	HCl	14	30
Фтористый водород	HF	0,14	2
Фосфорный ангидрид P ₂ O ₅	0,07	—	—
Фосфористый водород	PH ₃	0,23	—
Оксид серы (IV)	SO ₂	30	50
Сероводород	H ₂ S	Отсутствует	—
Оксид углерода (II)	CO	< 0,15%	0,50%
Оксиды азота	NO _x	~20	650

По результатам анализа проб поглощающего раствора и твердого осадка концентрация диоксинов укладывается в допустимые нормативы.

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ

*(по методу Д. В. Аристархова,
Н. Н. Егорова и др.)*

Необходимость снижения опасного техногенного влияния на окружающую среду и поиска путей экономии энергетических и сырьевых ресурсов, которые становятся все более дорогостоящими и дефицитными, требует создания новых безотходных технологий и разработки высокоэффективных, экологически безопасных способов переработки отходов.

Одним из потенциальных источников сырья и энергии является растительная биомасса. При этом важное значение имеет то обстоятельство, что биомасса в отличие от ископаемых энергоресурсов представляет собой возобновляющийся источник и ресурсы биомассы в различных видах имеются практически в большинстве регионов мира.

Существующие в настоящее время технологии переработки биомассы значительно устарели и не отвечают современным требованиям по экологическим, экономическим и техническим показателям.

В связи с этим разработка новых высокоэффективных и безотходных технологий производства сырьевых и энергетических ресурсов из растительной биомассы представляет собой актуальную научно-техническую задачу.

На основании изучения и анализа разрабатываемых передовых технологий промышленного и энергетического использования растительной биомассы созданы новые технологии получения строительных материалов, декоративных элементов и экологически чистого топлива из биомассы.

Сущность технологий заключается в измельчении растительной биомассы (древесина, солома, отходы обработки риса, земляных орехов и пр.), термообработке паром, прессовании термообработанной массы в брикеты, строительные и декоративные элементы, форма и размеры которых задаются потребителем продукции. При этом отпадает необходимость в использовании связующих материалов, в результате чего производство различных материалов, основанное на данном методе, является экологически чистым и не требует дополнительных затрат энергии (газ, мазут и другие энергоносители), поскольку часть изготавливаемых брикетов (около 25%) используется для полного энергообеспечения производства.

Данная технология в отличие от известных отечественных и зарубежных позволяет получать топливные брикеты, обладающие повышенной на 12—20% теплотой сгорания, более высокой плотностью (до 1400 кг/м³) и прочностью.

Продукты сгорания таких брикетов не содержат оксидов серы и отличаются от продуктов сгорания угля и торфобрикетов значительно меньшим золообразованием (зольность угля составляет от 15 до 40%, торфобрикетов — до 23%, брикетов из биомассы — 0,5—4,0%). Одна тонна производимых по данной технологии брикетов из биомассы эквивалентна по количеству выделяемой энергии при сжигании 780 м³ природного газа, 2,2 т торфобрикетов, или 1 т угля.

Перспективность метода паротермической деструкции переработки отходов заключается в возможности создания на основе данного метода высокоэффективных технологий переработки различного рода органических отходов (пластмассовые отходы, осадки сточных вод, зоомасса и пр.).

Особую актуальность для многих стран приобрели проблемы переработки пластмассовых отходов.

В настоящее время разрабатывается процесс паротермической утилизации пластмассовых отходов, который заключается в следующем.

В реактор подаются пластмассовые отходы. Одновременно через пароперегреватель в реактор подается перегретый пар, который проходит через слой дисперсного материала и отходов. Контактируя с паром и дисперсным материалом, отходы нагреваются и расплавляются. Под действием тепла происходит разложение отходов с образованием газообразных продуктов, которые смешиваются с потоком пара и увлекаются им на выход из реактора. Смесь газообразных продуктов и водяного пара подается в холодильник. В результате охлаждения смеси образуется конденсат и несконденсировавшийся газ. Газ закачивается в газгольдер, а конденсат возвращается в парогенератор.

Данный проект представляется перспективным по следующим соображениям:

1. Возможность путем конденсации выделять водяной пар из парогазовой смеси позволяет без особых технических сложностей осуществлять концентрирование продуктов разложения и доводить их содержание в конечном продукте практически до 100%.

2. Возможность перерабатывать по данному методу пластмассы, одним из продуктов разложения которой является хлористый водород и сернистые соединения.

3. Простота в осуществлении рециркуляции теплоносителя.

4. Особый характер процессов разложения пластмасс позволяет получать исходные продук-

ты, которые могут быть использованы в качестве сырья для производства пластмасс.

5. Высокая экономичность процесса, которая достигается как за счет рециркуляции теплоносителя, так и за счет получения ценного химического сырья.

6. Отсутствие вредных выбросов в окружающую среду, поскольку все вредные вещества растворяются в конденсате и могут быть достаточно просто обезврежены в растворе.

7. Высокая взрывопожаробезопасность процесса, обусловленная использованием водяного пара.

Представленные в настоящем докладе технологии переработки отходов основаны на идее паротермического воздействия на отходы.

Перспективность данной идеи заключается в возможности создания эффективных экологически чистых технологий термической переработки различных органических отходов в твердое, жидкое или газообразное топливо. При этом могут быть достигнуты интенсификация термических процессов, уменьшение энергоемкости и материалоемкости оборудования, расширение сырьевой базы и снижение вредных выбросов в окружающую среду.

Физико-химическая модификация полиэтилена с целью получения экологически чистых материалов на основе вторичного полимерного сырья

1. Постановка проблемы

Использование вторичного сырья для создания новых материалов способствует решению таких актуальных задач, как экономия дефицитного первичного сырья, более эффективное и комплексное использование производственных мощностей, а также снижение загрязнения окружающей среды.

Одной из основных проблем выполнения общегосударственной программы ресурсосбережения является наиболее полное и эффективное вовлечение вторичных материальных ресурсов (ВМР) в промышленное производство. Вторичные полимерные материалы и, в частности, вторичный полиэтилен низкой плотности (ВПЭНП) представляют собой крупнотоннажный отход в виде с/х пленки парников и теплиц, ресурсы которого уже к настоящему времени составляют более 100 тыс. т и в будущем согласно прогнозам значительно возрастут. Предположительно к 2010 г. полимерные отходы составят 71,0 млн т. Что вызывает тревогу, так это их неполное использование.

В промышленную переработку возвращается менее 30% этого вида отходов и используется в основном для производства труб, ящиков и дру-

гих изделий неконструкционного и строительного назначения.

Использование вторсырья представляет собой многоплановую проблему, охватывающую все отрасли народного хозяйства России. Ее решение связано со всей производственной деятельностью, сферой услуг и быта, ресурсопотреблением, ресурсосбережением и охраной окружающей среды.

Прямой ущерб от загрязнения окружающей среды отходами производства и потребления оценивается примерно в 35—40 млрд руб. ежегодно (в ценах до 1992 г.)

В ходе реализации проекта, думаем, встретимся с проблемами внедрения на предприятиях города, т. к. трудно с финансированием на заводах.

2. Общий замысел и основные идеи проекта

Хотим изменить следующее:

Очистить наш дом, сделать полезными полимерные отходы, а это целый мир: новая пленка для с/х теплиц, новая тара для консервов и ликероводочных изделий, новые трубы из пластика с модификаторами, новые флокулянты и ионообменные материалы для извлечения ионов ртути, меди и цинка, а также хлорсульфированный полиэтилен — прекрасный каучук для атмосферостойких покрытий. Очень интересное направление использования вторичного полиэтилена для нанесения антикоррозионных покрытий методом плазменного напыления. Таким образом, объектом нашей деятельности являются полимерные отходы и среди них основные объекты: фторполиэтилен низкого давления, отходы поливинилхлорида, полистирола, фторполиэтилена.

Направление, по которому хотим изменить описанную выше ситуацию, — химическая модификация полимерных отходов с целью получения экологически чистых, новых полезных материалов, утилизация отходов, которые губительно влияют на жизнь человека, наносят ущерб от загрязнения окружающей среды здоровью нации и всех земель. Ситуация должна измениться в лучшую сторону, а именно увеличить процент вовлечения полимерных отходов в повторную переработку в местах их образования или на смежных предприятиях. За рубежом примерно 50% промышленных отходов многих видов термопластов уже вовлечено в повторную переработку промышленных отходов и будет доведено до 90%. Снижение материалоемкости на 10% по н/х дает экономию бюджета страны в размере, ориентировочно равном 13 млрд руб. в ценах до 1992 г.

Использование новой технологии физико-химической модификации вторичного полимер-

ного сырья позволит изменить ситуацию. Стратегия в достижении желаемых результатов заключается в следующем: использовать достижения научной мысли в области физико-химической модификации вторичных полимеров, шире привлечь ученых России, практиков-специалистов заводов, НИИ, КБ для решения экологических проблем. А начали бы мы с того, что сделали «фотографический портрет» того положения, в котором находится Нижневолжский регион, включая экологию, экономику, политику. При этом выделим долговременные цели региона (направленность на новые изделия и новые экологически безопасные технологии, новые методы оценки сырья и вторичных полимерных ресурсов, новые взаимоотношения производителей и покупателей отходов и продуктов их физико-химической модификации, а также разработку программы формирования спроса и стимулирования сбыта новой продукции). В конечном итоге сделать эту продукцию конкурентоспособной, чтобы Россия могла экспортировать ХСПЭ, катиониты и полимерную тару, а также новые технологии в другие страны. Сформулировать спрос на новую экологически чистую продукцию из вторичных полимерных отходов и организовать рекламу, выбрать каналы распространения товаров. Принять участие в работе телевидения для формирования общественного мнения, в выставках и ярмарках, участвовать в симпозиумах, показывать действующие установки.

Необходимо выделить и краткосрочные цели (разнообразная текущая деятельность по разработке методик, внедрение в производство идей и работа на рынках сырья ВПЭ).

К краткосрочным целям нужно отнести проведение ситуационного анализа: объективно оценить, в каком состоянии мы находимся? Что нас ожидает при существующем положении дел? Какое воздействие оказывает на нас внешняя среда? Что надо для этого сделать? Далее оценить цели — почему надо делать так, а не иначе? И, наконец, принять решение относительно того, каким должен быть порядок (иерархия) целей?

Далее следует выдвижение стратегии, а именно, как нужно действовать для достижения целей? Выбрать стратегию и оценить, какая стратегия наилучшая и почему, и, наконец, принять решение. После принятия решения определить тактику — какие действия следует предпринять и почему? Разработать оперативный план, где указать, кто, что, когда, где должен сделать. К тематическому планированию отнесем и реализацию оперативного плана, куда входит сбор данных, насколько хорошо или плохо идут дела. Сделать необходимо оценку того, что и как было сделано. Все взять под контроль и

снова принять решение необходимости проведения ситуационного анализа.

Хорошо проведенный ситуационный анализ, а его нужно проводить хотя бы 2 раза в год, позволит избавиться от иллюзий и трезво взглянуть на истинное положение вещей, наметить наиболее действенные направления развития данной тематики и деятельности научной группы.

Именно указанные действия, эта стратегия, путь наиболее эффективно основываются на том, что результатом химической модификации должны быть получены экологически чистые новые полезные материалы, утилизированы отходы, которые губительно влияют на жизнь человека, что позволит сохранить здоровье нации. Увеличится процент вовлечения полимерных отходов в повторную переработку.

Использование новой технологии физико-химической модификации вторичного полимерного сырья предпринимается впервые. Разрабатываемые процессы направлены на снижение материалоемкости ряда промышленных процессов путем замены первичного полиэтилена на вторичный. Эффективность этого пути очень высока, даже оценивая снижение материалоемкости только на 1% по н/х, она даст экономию бюджета страны в размере, ориентировочно равном 13 млрд руб. в ценах до 1992 г. (по данным бывшего Госплана СССР).

Для выбора рационального направления использования отходов ПЭ с учетом его новых свойств, приобретенных в процессе эксплуатации, необходимо рассмотреть и проанализировать существующие в стране и за рубежом способы переработки первичного полиэтилена, а также возможные пути для переработки вторичного полиэтилена. Наиболее распространенные способы переработки отходов ПЭ можно разделить на три основные группы: сжигание с использованием выделяющейся при этом энергии, термическая деструкция (пиролиз), механико-химическая и химическая модификация.

Однако исследования показали, что при сгорании отходов полимеров, отличающихся неоднородностью своего состава, возможно образование токсичных, в том числе и канцерогенных веществ. Поэтому такой путь использования полимерных отходов не является перспективным и в дальнейшем объем отходов ПЭ, направляемых на сжигание, должен уменьшаться. Это равносильно сжиганию в топке долларов.

Анализ рассмотренных данных свидетельствует о том, что промышленно реализованным процессом использования ВПЭ в настоящее время является пиролиз с целью получения моторного топлива и смазочных масел. Однако неопределенность состава ВПЭ приводит к трудностям фракционирования продуктов его термо-

деструкции и возможности вредных выбросов. Это направление использования ВПЭ, хотя и учитывает его особенности, может привести к более опасному загрязнению окружающей среды, т. к. среди продуктов пиролиза могут оказаться высокотоксичные вещества.

В настоящее время модификация ВПЭ является основным методом его переработки и расширения эксплуатационных характеристик ВПЭ.

Получение огнестойких материалов на основе вторичного полиэтилена

Одним из основных требований, предъявляемых к полимерным материалам, является их огнестойкость. Нами были проведены исследования по модификации ВПЭ путем механохимической прививки фосфорсодержащих органических соединений-антипиренов.

В качестве фосфорсодержащих органических модификаторов были выбраны полимер ди-(β -метакрилоил- α -хлорметил) метилфосфоната (ПМФ) и фосфорилированный поливинилхлорид (ФПВХ). Механохимическую прививку осуществляли в присутствии инициаторов перекисного типа (перекиси бензоила или перекиси третбутила).

Использование в качестве компонента для сополимеризации ВПЭ с ПМФ позволяет легко перерабатывать композицию на вальцах и в экструдере.

С использованием ПМФ получены композиции на основе ВПЭ, содержащие (масс. ч.): вторичный полиэтилен — 50—97; модификатор ПМФ — 47—2,0; перекись бензоила или третичного бутила — 3,0—1,0.

Химическая модификация ВПЭ ПМФ позволяет получить композиции с улучшенными свойствами: модификатор нелетуч, не выпотевает в процессе эксплуатации, обладает стабилизирующими свойствами. Предлагаемая полимерная композиция обладает значительно меньшей горючестью по сравнению с базовым образцом в 10—30 раз, по свето- и теплостойкости в 2 раза, по водостойкости в 3—4 раза. Она дешевле всех известных полимерных композиций на основе полиэтилена, так как используются отходы полиэтиленовой пленки.

Были получены и исследованы композиции на основе ВПЭ и фосфорилированного поливинилхлорида (ФПВХ) — 4—51% в присутствии перекиси дикумила (ПДК) — 2—3%.

Сравнивая результаты экспериментов по изучению свойств предлагаемых полимерных композиций с опубликованными данными для аналогичных композиций, можно сделать вывод о значительных преимуществах в свойствах предлагаемых полимерных композиций по сравне-

нию с известными: ударная вязкость возросла более чем в 2 раза; теплостойкость примерно в 2 раза; атмосферостойкость более чем в 2 раза; химическая стойкость — примерно в 9 раз; снижена горючесть полимерной композиции примерно в 30 раз.

Таким образом, использование ВПЭ для приготовления полимерной композиции позволяет расширить сырьевую базу и получить высококачественные изделия на основе вторичного сырья.

Хлорсульфирование ВПЭ и получение антикоррозионных покрытий методом плазменного напыления

В литературе полностью отсутствуют какие-либо упоминания о разработках по сульфохлорированию вторичного полиэтилена, а также по модификации ВПЭ какими-либо фосфорсодержащими реагентами, отличными от хлорокиси фосфора.

Настоящая научно-исследовательская работа по химической модификации ВПЭ предпринимается впервые. Основное отличие от ближайших аналогов заключается в использовании для модификации вместо первичного ПЭ крупнотоннажных отходов полиэтиленовой пленки парников и теплиц.

В результате проведенных исследований удалось подобрать растворители и режимы, позволяющие готовить растворы даже из ВПЭ, содержащего до 40% гель-фракции.

Это является принципиальным шагом в решении не только вопросов хлорсульфирования, но и химической модификации ВПЭ, позволяющим широко вовлекать его в различные химические процессы.

Выполненное исследование реакции хлорсульфирования ВПЭ, оптимизация режимов ее проведения путем варьирования скоростей подачи хлора и сернистого ангидрида, а также путем подбора специфических перекисных катализаторов позволило осуществить процесс и получить продукт со стабильными физико-химическими свойствами: высокими прочностью, износостойкостью, стойкостью к старению и воздействию агрессивных сред.

Хлорсульфированный вторичный полиэтилен (ХСВПЭ) отличается высокой стойкостью к действию озона. Важной его особенностью по сравнению с другими эластомерами, да и самим ВПЭ, является огнестойкость, связанная со значительным содержанием хлора.

Изучен процесс вулканизации ХСВПЭ. Для вулканизации ХСВПЭ применялись сера и ускорители после предварительной обработки эластомера оксидом цинка с использованием в качестве вулканизирующих агентов продукта кон-

денсации аминов с альдегидами, а также диаминбензимидазола (ДАВИ).

ВПЭ и композиции на его основе, а также ХСВПЭ и его композиции были использованы для нанесения покрытий на подложки плазменным способом. Плазменный способ позволяет широко использовать любые отходы производства и потребления полимерного сырья, при этом адгезия получаемых покрытий для большинства материалов выше, чем при других способах нанесения ввиду активации плазмой в процессе нанесения как частиц порошка, так и опыляемой поверхности. Нанесенные плазменным способом полимерные покрытия имеют специфическую структуру и свойства. Их отличают высокая плотность и сплошность, дополнительная сшивка молекулярных структур и агломератов, что позволяет получать покрытия с повышенной химической устойчивостью и атмосферостойкостью. Нанесение плазменных полимерных покрытий позволяет увеличить срок службы изделий и конструкций, решить задачи сбережения ресурсов.

Получение ионообменных материалов на основе вторичного полиэтилена

В связи с наличием существенных недостатков при использовании неорганических сорбентов для извлечения ионов металлов из растворов большой интерес представляют комплексообразователи на основе высокомолекулярных органических соединений (комплексообразующие ионообменные смолы КИС).

Селективность КИС определяется, во-первых, химическим сродством комплексообразующих групп к сорбируемому иону или молекуле и, во-вторых, физическими (в основном структурно-пространственными) факторами, совокупность которых не всегда поддается учету.

Вторичный ПЭ содержит донорные атомы (в частности О), однако в столь малых количествах, что сам по себе не сорбирует ионы металлов из растворов. Однако благодаря наличию в его структуре активных центров существует возможность придания ему полярности путем введения полярных групп и получения модифицированного ВПЭ, способного извлекать ионы металлов из растворов.

Данное исследование посвящено разработке новых ионообменных материалов на основе ВПЭ, содержащих привитые группы винилфосфоновой кислоты, метилакрилатные, фосфорильные и другие группы. Были получены гомогенные формованные КИС и гетерогенные КИС смешением ВПЭ и ПМФ, в соотношении 1—2,0,5—1.

В результате привитой сополимеризации ВПЭ и ПМФ получен сшитый в единую про-

странственную сетку полимер, способный извлекать из водных растворов ионы металлов, например, ионы меди (Cu^{2+}) и цинка (Zn^{2+}). Данные по сорбции ионов меди приведены в табл. 1.

Анализ показал, что кривые зависимости процента извлечения от времени имеют зону активизации реакции (до $t = 1$ ч), которая обусловлена, очевидно, высокой гидрофобностью поверхности сорбента. Затем процент извлечения линейно возрастает (до $t = 1-2$ ч) от 10 до 90%, что соответствует стадии химической реакции обмена. При более высоких степенях превращения преобладающей стадией является внутренняя диффузия.

Как видно из табл. 1, при определенных условиях достигается полная (100%) степень извлечения ионов меди из раствора.

Исследованы сорбционные характеристики изучаемой ионообменной композиции при $\text{pH} = 5,2$ (это значение pH характерно для промышленных вод ряда производств) в области концентраций 1—3 мг/мл, рассчитаны коэффициенты распределения.

Высокие значения коэффициента распределения свидетельствуют о том, что сорбент селективен к ионам переходных металлов, в частности, он способен извлекать из растворов также ионы Zn^{2+} . Ионообменные свойства полимерного привитого сорбента изучали, изменяя количество сорбента.

Таблица 6

Зависимость степени извлечения ионов Cu^{2+} от концентрации Cu^{2+} , количества сорбента, времени контакта

Количество Cu^{2+} в исследуемом объеме, мг	Навеска сорбента, г	Время контакта, ч	Степень извлечения, %	Коэффициент диффузии, $\text{см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$
10	0,5	0,25	9,3	$1,81 \cdot 10^{-1}$
10	0,5	0,5	20,7	
10	0,5	1,0	28,3	
10	0,5	2,0	100	
10	0,5	4,0	100	
50	0,5	0,5	7,9	$1,62 \cdot 10^{-7}$
50	0,5	1,0	12,9	
50	0,5	2,0	67,8	
50	0,5	4,0	88,3	
50	1,0	0,5	14,7	$1,18 \cdot 10^{-7}$
50	1,0	1,0	15,7	
50	1,0	2,0	86,4	
50	1,0	4,0	100	
100	1,0	0,5	7,8	$1,49 \cdot 10^{-7}$
100	1,0	1,0	11,75	
100	1,0	2,0	64,9	

Окончание табл. 6

Количество Cu^{2+} в исследуемом объеме, мг	Навеска сорбента, г	Время контакта, ч	Степень извлечения, %	Коэффициент диффузии, $\text{см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$
100	1,0	4,0	91,1	$1,35 \cdot 10^{-7}$
150	1,0	0,5	6,9	
150	1,0	1,0	40,2	
150	1,0	2,0	63,1	

Задача создания сорбентов, обладающих высокими физико-механическими свойствами и способных к сорбции ртути в разных средах, чрезвычайно актуальна.

Полимерная композиция, полученная путем механико-химической модификации ВПЭ фосфорилированным поливинилхлоридом (ФПВХ), обладает способностью избирательно извлекать из раствора ионы ртути. Изучали зависимость степени извлечения ионов ртути данным сорбентом от различных факторов: pH среды, количества сорбента, количества Hg^{2+} , времени контакта. Концентрацию ионов ртути до и после контактирования определяли экстракционно-титрометрическим методом с диэтилдитиокарбаматом натрия, используя в качестве индикатора ионы Cu^{2+} .

Полимерный сорбент на основе ВПЭ и ФПВХ извлекает ионы ртути из растворов в широком диапазоне значений pH. Извлечение основного количества ртути, находящегося в растворе, происходит в течение короткого времени контакта, дальнейшее увеличение време-

ни контактирования сорбента с раствором приводит к незначительному росту степени извлечения.

Величина сорбционной емкости сопоставима с подобными характеристиками ионитов, используемых в промышленности.

Успешная реализация проекта позволит начать вытеснение неэффективных способов переработки вторичного полиэтилена.

Поскольку в настоящее время проблема полной и эффективной экологически безопасной технологии переработки вторичного полиэтилена не решена, то реклама на рынке технологий получения новых экологически чистых материалов позволит привлечь коммерческие и государственные структуры для финансирования и широкого внедрения созданных новейших способов переработки полимерных отходов, таких как вторичный полиэтилен.

Только в Российской Федерации необходимо перерабатывать около 100 тыс. т отходов полиэтилена в год.

Для реализации указанного сырьевого потенциала необходимо ввести несколько цехов на территории России на химических предприятиях типа АО «Химпром».

Полученные расчеты свидетельствуют о коммерческой эффективности данного проекта и его привлекательности для инвестора.

В целом проект достаточно устойчив к изменениям основных входных показателей. С учетом сказанного, а также на основе проведенного анализа рассмотренный проект может быть рекомендован к финансированию.

ПРИМЕЧАНИЯ

1. Лобачева Г. К., Улицкий В. А., Муратова Н. М. и др. Новые материалы на основе вторичного полиэтилена / ЦНИИТЭИМС. М., 1991.

2. Лобачева Г. К. Полимерные отходы — ценное сырье для народного хозяйства / Четский форум «Интеллектуальные ресурсы развития научно-технического творчества». Сб. докл. ВНИИПИ. Ч. 2. М., 1989. С. 272.

3. Раткевич Г. Л., Лобачева Г. К. Исследование процесса модификации хлорсульфированного полиэтилена производными адамантана в апектрическом поле высокого напряжения / Актуальные проблемы современной химии: Тез. докл. Всесоюз. конф. Куйбышев, 1984. С. 47.

4. Лобачева Г. К. Состояние разработок и перспективы применения резин на основе каучуков общего назначения повышенной огнестойкости, полученных с использованием модификаторов / Тез. докл. VI Всесоюз. конф. по горению полимеров и созданию ограниченно горючих материалов. Суздаль, 1988; М.: Наука.

5. Лобачева Г. К., Тужиков О. И., Бондаренко С. Н. Исследование поведения эластомерных материалов, содержащих производные бензимидазолов при воздействии высоких температур и горения / Тез. докладов VI Всесоюз. конф. по горению полимеров и созданию ограниченно горючих материалов. Суздаль, 1988; М.: Наука.

6. А. с. 1692947 СССР «Способ извлечения меди из растворов» / Г. К. Лобачева, Н. М. Муратова и др. Заявл. 20.10.89 г. Оpubл. Б. И. № 43 от 23.11.91 г.

7. А. с. 1678772 СССР «Способ извлечения цинка из растворов» / Н. М. Муратова, Г. К. Лобачева, М. В. Лысенко и др. Заявл. 20.10.89 г. Оpubл. Б. И. № 35 23.09.91 г.

8. А. с. 1723044 СССР «Способ извлечения ртути из растворов» / Г. К. Лобачева, О. И. Тужиков и др. / Заявл. 20.10.89 г. Оpubл. Б. И. № 12 от 30.03.92 г.

9. Патент России № 2007428 «Полимерная композиция» / Г. К. Лобачева, М. В. Лысенко, В. А. Улицкий и др. / Заявл. 25.06.91 г. Оpubл. Б. И. № 3 15.02.94 г.

10. Патент России № 2002769 / «Полимерная композиция» / С. Н. Бондаренко, Г. К. Лобачева, В. А. Улицкий и др. / Заявл. 26.06.91 г. Оpubл. Б. И. № 41—42 от 15.11.93 г.

11. Патент СССР № 1836386 «Способ получения хлорсульфированного полиэтилена» / Г. К. Лобачева, В. А. Улицкий, А. Е. Васильевский и др. Заявл. 22.07.91 г. Оpubл. Б. И. № 31 от 23.08.93 г.

12. Заявка № 5002943 от 22.07.91 г. «Способ получения антикоррозионного полимерного покрытия» / Г. К. Лобачева, В. А. Улицкий, Е. И. Меркулов и др. Положительное решение.