

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РЕЦИКЛИНГА АВТОМОБИЛЬНЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ

Кириченко А.С.¹

¹ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И.П. Бардина Минпромторга России», Москва, Россия (105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, 9/22), e-mail: prof-andrey@mail.ru

Проведен анализ современного состояния внедрения катализаторов выхлопных газов двигателей на транспорте и технических, технологических, организационных, правовых и экономических проблем их рециклинга с целью извлечения содержащихся драгоценных металлов-платиноидов и вовлечения этих металлов во вторичный оборот. Предложена классификация отработанных автомобильных катализаторов, ориентированная на систему отечественных предприятий по переработке цветных вторичных металлов. Рассмотрены типы катализаторов на керамической и металлической основе. Сформулированы основные классификационные признаки. Рассмотрены методы процентного определения драгметаллов в катализаторах на этапах их организованного первичного сбора и химического анализа каталитического сырья в подготовленных к переработке партиях. Проанализированы основные технологии рециклинга катализаторов гидрометаллургическим и пиротехническим методами, отмечены их достоинства и недостатки. Определены основные проблемы и сформулированы задачи в области переработки автомобильных катализаторов на базе формируемой новой экологической комплексной системы утилизации автомобилей и его основных компонентов.

Ключевые слова: катализаторы, технологии утилизации, классификация, экология транспорта.

ACTUAL PROBLEMS OF THE RECYCLING OF AUTOMOBILE CATALYSTS

Kirichenko A.S.¹

¹Central research institute of ferrous metallurgy n.a. I.P. Bardin, Moscow, Russia (105005, Moscow, street 2nd Bauman, 9/22), e-mail: prof-andrey@mail.ru

The analysis of a current state of introduction of catalysts of exhaust gases of engines on transport and technical, technological, organizational, legal and economic problems of their recycling, for the purpose of extraction of containing precious metals-platinoids and involvement of these metals is carried out to a secondary turn. A classification of the fulfilled automobile catalysts, based on the system of domestic enterprises on processing of non-ferrous secondary metal. Types of catalysts on a ceramic and metal basis are considered. Main principles of classification features. The methods of the interest determination of precious metals as catalysts at the stages of their organised primary collection and chemical analysis of catalytic materials prepared in the redesign of the parties. Analyzed the basic technology of recycling of catalysts hydrometallurgical and pyrotechnic means, are marked with their advantages and disadvantages. Identified key issues and formulate the tasks in the field of automobile catalysts on the basis of the emerging new eco-complex system of vehicles and its main components.

Key words: catalysts, technologies of utilization, classification, ecology of transport.

Введение

Применение содержащих металлы платиновой группы катализаторов выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания (ДВС) на транспорте является основным направлением снижения экологически вредных выбросов. Выполнение экологических требований «ЕВРО-4» и выше для ДВС, как бензиновых, так и дизельных, технически невозможно без применения катализаторов [8]. По статистическим данным, в катализаторе легкового автомобиля находится 1-5 г металлов платиновой группы (МПГ), а масса каталитического блока, извлеченного из внешнего корпуса, колеблется от 1 до 3 кг. Большие абсолютные цифры относятся к моторам большой мощности. Развертывание индустрии переработки

автокатализаторов, внедрение новых технологий способно в ближайшие годы вернуть в оборот до 5 тонн вторичных металлов платиновой группы в год, что дает в денежном выражении оценку значимости проблемы для российской экономики в 250 млн долл./год.

Автокатализаторы представляют собой устройства, в которых отработанные газы двигателя, проходя через катализатор, нагреваются и доокисляются на его рабочей поверхности. Окись углерода CO переходит в углекислый газ CO₂ и H₂O, а окислы азота NO_x превращаются в молекулярный азот N₂ и пары воды благодаря каталитической способности платины, палладия, родия, а также иридия и ряда редкоземельных элементов, применяемых в автокатализаторах [2]. Причиной образования угарного газа, окислов азота NO_x и углеводородов CH является неоднородность состава горючей смеси в камере сгорания ДВС, а также неравномерность температуры и давления в различных ее частях. В некоторых зонах топливо сгорает не полностью из-за обрыва цепной реакции окисления углеводородов.

При нормальных условиях эксплуатации примерно через каждые 100 тыс. км пробега автомобиля катализаторы нуждаются в замене [2]. Так как в процессе их работы происходит химическое отравление элементами, присутствующими в виде примеси в топливе, прежде всего соединениями серы.

В мире подвергаются рециклингу ежегодно до 40 млн штук катализаторов выхлопных газов автотранспортной техники, регистрируемой национальными автоинспекциями. При периодическом прохождении техосмотров этой техники осуществляется контроль выхлопа газов двигателя, что вынуждает собственников поддерживать систему нейтрализации на должном техническом уровне. Нарастает также поток использованных катализаторов, установленных на серийных промышленных двигателях последних лет производства, конвертированных для техники другого назначения (строительной, сельскохозяйственной, подъемно-транспортного оборудования и др.).

Значителен в перспективе потенциал переработки автокатализаторов и в России. По темпам роста автопарк страны в числе мировых лидеров, по состоянию на 1 января 2012 года он составил более 41 млн автомобилей. Легковых автомобилей в России насчитывалось 35,06 млн, из них иномарки - более 16 млн единиц. Парк грузовых автомобилей превысил 5,5 млн ед., автобусов 0,9 млн ед. Объем требующих переработки автомобилей уже в 2013 г. оценивается в 1,5 млн единиц в год, а к 2015 г. может достигнуть 2,5 млн автомобилей [2].

Однако в настоящее время состояние дел в рассматриваемой сфере – неудовлетворительное. В стране перерабатывается не более 10% отработанных автокатализаторов, преимущественно это отслужившие катализаторы со старых иномарок и ряда иностранных моделей автомобилей российской сборки последних лет, с утилизируемых

единичных аварийных почти новых автомобилей. На российские предприятия-второметы они поступают преимущественно от фирменных центров техобслуживания иномарок или АвтоВАЗа, ГАЗа, где примерный качественный химический состав партии таких катализаторов оценивается по паспортным данным производителя, с учетом поправки на потери в период эксплуатации.

Что же касается основной массы катализаторов, собираемых пунктами заготовки цветных металлов или автомастерскими, то отсутствие объективных данных о концентрации в катализаторе драгоценных металлов сильно сдерживает товарно-денежные отношения на всех этапах: от первичной оплаты сдатчику на пункте приема вторсырья до товарных отношений между ломозаготовителями и предприятием-переработчиком. Обусловлено это, во-первых, отсутствием единого маркировочного стандарта, позволяющего установить относительное и абсолютное содержание драгметалла, многообразием типов катализаторов, их производителей и химсостава используемого каталитического покрытия.

В результате в европейской части России, по экспертным оценкам, 60-70% автокатализаторов в настоящее время уходит по серым схемам в соседние республики Балтии и в Финляндию по низким ценам в 8-10 евро за один каталитический блок легкового автомобиля. В глубинке России происходит накопление блоков катализаторов «про запас» у ломозаготовителей и владельцев мелких автомастерских из-за трудностей реализации сборных первичных партий. Часть их просто выбрасывают автовладельцы, загрязняя окружающую среду. Отсутствие на таможенных приборах контроля низких концентраций платиноидов, а также специализированных инструкций способствует подобному товародвижению, и ценные металлы вывозятся из страны без должного возмещения казне.

Ситуация осложняется тем, что как в мире, так и в России существует дефицит платиноидов на рынке. Годовая добыча и производство нового металла не покрывает мировые потребности. А мировые ресурсы весьма ограниченные. Баланс спроса и предложения все в большей мере поддерживается за счет рециклинга платиноидов. Так, доля вторичной платины на мировом рынке в 2012 году составляла 31,6%, а палладия 18,3%. Дальнейшее устойчивое развитие автомобильной промышленности возможно только при переходе на организованную систему сбора, сортировки и переработки автокатализаторов. Позитивно только то, что металлы-платиноиды можно подвергать многократному рециклингу, и их вторичные металлы по свойствам не уступают первичному металлу из рудного сырья. Мировая добыча первичной платины в 2011 году достигла 199 тонн, а палладия - 220,2 тонны. Россия по объему добычи и производства платины (25,8 тонны) занимает 2-е место в мире, и 1-е по палладию - 99,6 тонны в 2011 году. Родий является еще более редким элементом с годовой добычей 22,5 тонны. [5].

Для рециклинга МПГ из отработанных катализаторов необходимо решить целый комплекс взаимосвязанных проблем, лежащих в сферах технологии, организации сбора и переработки катализаторов, нормативно-правового и законодательного обеспечения.

Наибольшей каталитической активностью в реакциях доокисления выхлопных газов ДВС обладает платина. Но она же проявляет высокую активность в реакциях окисления серы с образованием SO_3 . То есть автомобили с платиновых катализаторами должны работать исключительно на дорогих низкосернистых сортах автомобильного топлива. На второй позиции - палладий, который в среднем в 3 раза дешевле платины, что и предопределяет его перспективность и преимущественное использование в катализаторах транспорта исходя из критерия «цена-качество». К тому же палладий менее привередлив в отношении серы, содержащейся в примесях топлива.

Катализаторы для бензиновых двигателей базируются на системе платина-палладий-родий, причем количество родия в общей загрузке металлов платиновой группы по мере совершенствования конструкции двигателей понижается с 17-20% до 9-11% от общей массы платиноидов. В некоторых марках катализаторов наряду с платиной содержатся палладий, родий, рутений, а также рений, молибден и никель. Рабочая температура в катализаторе составляет 300-650 °С, для чего в состав сплавов вводят дополнительные тугоплавкие добавки. Для улучшения параметров работы катализатора во время запуска двигателя в мороз вводят в состав активного вещества включения ряда металлов, преимущественно редкоземельной группы.

Содержание платины в катализаторах самое высокое и находится в диапазоне 300-1000 мкг/г для новых катализаторов. Содержание палладия варьируется от 200 до 800 мкг/г. Содержание родия в катализаторах наиболее низкое и находится в диапазоне 50-100 мг/кг (ppm). Параметры содержания МПГ сильно различаются для разных производителей.

В России предприняты шаги по освоению собственного производства новых автокатализаторов. Уральский электрохимический комбинат (УЭХК) ввел в эксплуатацию цех по производству 2 млн активированных керамических блоков. Сборочное производство организовано на заводе в Тольятти. На российском рынке широко представлены модели и ведущих мировых фирм - изготовителей катализаторов.

Определенные конкретные шаги в этой сфере предпринимаются. Так, в апреле 2013 года Минпромторг рассчитал объемы средств, которые будут поступать в бюджет от уплаты утилизационного сбора. В соответствии с выполненным финансово-экономическим обоснованием в бюджет России от утилизационного сбора с 2013 по 2020 год поступит около 440,5 млрд рублей. От сбора с легковых автомобилей и коммерческого транспорта поступит 423 млрд рублей. За автобусы соберут около 1,6 млрд. Доля грузовиков не превысит 10% от

общей суммы утилизационного сбора. Государство будет субсидировать нерентабельные элементы системы, требующие значительных первоначальных инвестиций на современные технологии. Компаниям-переработчикам придется оформить соответствующую лицензию на осуществление деятельности по обезвреживанию и размещению отходов I–IV классов опасности. Одно из требований - применение специальных экологических технологий к рециклингу ряда узлов, таких как аккумуляторы, катализаторы, резина, пластмасса.

Таким образом, на отечественном автотранспорте в ближайшие годы намечается переход к организационной схеме рециклинга катализаторов на базе западноевропейского опыта [3]. В технологическом отношении основой такого перехода является разработанный в конце 2011 года Технический регламент Таможенного союза «О требованиях к колесным транспортным средствам по обеспечению их безопасной утилизации», основанный на базе Директивы Европейского союза 2000/53/ЕС «О транспортных средствах, выведенных из эксплуатации». Техрегламент перекладывает в дальнейшем ответственность за утилизацию автомобиля, по завершении срока его эксплуатации, на производителя автомобиля или на фирму-импортера [6]. Производители обязаны будут заключать договора с сертифицированными предприятиями по авторециклингу, которые будут способны обеспечивать экологичную утилизацию его и всех узлов. Техрегламент обязывает производителя предоставлять предприятиям-вторметам в электронном виде информацию о деталях автомобиля по его марке и заводскому номеру, в частности о типе катализатора и содержании драгметаллов, а также указывать в паспорте автомобиля ближайшие к потребителю адреса мест утилизации.

Зарубежная практика такова, что ведущие производители создают и поддерживают специальные сайты, на которых через сеть Интернет можно получить данные о маркировке и характеристиках всех деталей по заводскому номеру автомобиля. Российскому автопрому еще предстоит внедрить подобные информационные технологии.

Предприятия по утилизации, которые не будут иметь собственных участков по переработке съемных деталей, таких как катализаторы и аккумуляторы, обязаны будут в свою очередь иметь действующие договора с организациями-переработчиками. Невыполнение этих положений лишит утилизатора права на переработку автотранспорта. Таким образом, в перспективе при предприятиях-производителях и преимущественно за их счет должна быть развернута целая система по утилизации, во многом аналогичная сервисному обслуживанию. Проблемой является создание экономических стимулов реализации новых подходов к утилизации автотранспорта [1].

Некоторые конструктивные шаги делаются в части международной стандартизации маркировки автокатализаторов. В этой области проблемой является достижение единых

подходов, позволяющих в перспективе идентифицировать любой автокатализатор, однако этот процесс достаточно продолжительный, ибо европейские, американские и азиатские автопроизводители упорно отстаивают свои собственные интересы и свои системы.

Одной из проблем на начальном этапе развертывания рециклинга автокатализаторов в стране является установление единой классификации отработанных катализаторов, ориентированной на приемные пункты системы сбора и переработки вторичных металлов.

Для автокатализаторов приходится или накапливать партию отработанных, примерно однотипных, изделий (когда это удастся установить по маркировке или иным способом) или же собирать смесевую партию каталитических блоков, рассортировывать ее по определенным классификационным признакам, после чего блоки дробить, размалывать и тщательно перемешивать. Производится взвешивание каждой подготовленной партии, и отбираются пробы на химанализ. По результатам этого анализа для каждой партии вычисляются параметры технологического процесса, который должен быть гибким, чтобы охватить весьма широкий диапазон концентрации платиноидов в каталитической смеси. Параметры получаемой каталитической смеси носят нестабильный, стохастический характер. Более того, химсостав смесевых партий катализаторов в европейской части страны несколько отличен от Дальнего Востока страны, где доминируют азиатские иномарки.

К сожалению, именно второй вариант технологии наиболее распространен и наиболее приемлем для сложившихся сейчас условий России, ибо проводить полный и точный химанализ каждого катализатора не представляется экономически целесообразным, а установление паспортных данных по документации или маркировке изделия в сложившейся сейчас в России ситуации пока, скорее, исключение, чем правило.

Отдельные классификационные признаки отработанного автокатализатора могут быть установлены при его детальном осмотре. Их можно классифицировать: от дизельных двигателей, от бензиновых двигателей. Если автокатализатор поступает от автомастерской или же от собственника автомобиля, то это обычно достоверно известно. Кроме того, в дизельном и бензиновом двигателе применяются различные термодинамические процессы и различное топливо (бензин, моторное). Наиболее характерное внешнее отличие – значительные выбросы сажи в выхлопе дизелей. Образование сажи является следствием используемого процесса самовоспламенения и химсостава дизтоплива. Для нейтрализаторов выхлопных газов дизелей характерно наличие большого по объему сажевого фильтра, который в двигателях легковых автомобилей размещается за блоком катализатора и заключается с ним в единый металлический корпус. Исходя из габаритных размеров представляется классифицировать катализаторы: от легковых автомобилей и от грузовых

автомобилей. Конструктивно катализаторы подразделяют: с керамической основой и металлической лентой.

Расширенное применение в мире имеют относительно дешевые керамические катализаторы, активный блок которых представляет собой водный алюмосиликат алюминия и магния или кордиерит $(\text{Mg,Fe})_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18}$, имеющий слоистую сотоподобную структуру, сверху покрытую слоем тефлона и оксида алюминия. Блок заключен во внешний, обычно нержавеющий стальной корпус, содержит многочисленные каналы, через которые проходят выхлопные газы. Катализаторы на металлической основе преимущественно представляют собой свернутую металлическую ленту с нанесенным на нее активным каталитическим слоем. Как правило, в отработанных керамических катализаторах керамический блок нарушен или в результате ударов о дорогу, или из-за термических напряжений и трещинообразования в ходе длительной работы. В корпусе всегда присутствует керамический песок, что позволяет классифицировать этот тип катализатора уже при первичной сортировке.

Большинство европейских автопроизводителей: «Мерседес Бенц», «БМВ», «Рено» и др. - используют катализаторы на керамической основе, азиатские производители «Мицубиси», «Хендай», «Мазда» и др. используют преимущественно катализаторы на металлической основе.

Германия занимает первое место в мире по производству платиноида - иридия, и широко применяет его в качестве заменителя. Платинопалладиевые катализаторы с добавками иридия для бензиновых двигателей наиболее часто устанавливаются на автомобилях немецкого производства и производства Великобритании. Во многих случаях катализаторы с автомобилей, произведенных в этих странах или с соответствующей маркировкой страны на корпусе, отсортировывают отдельно как потенциально иридиевосодержащие.

В дальнейшем керамические блоки извлекают из внешних корпусов и взвешивают, а далее следует по технологической цепи только одна каталитическая масса. Масса цельных или дробленых керамических каталитических блоков с учетом среднего содержания в ней вторичного драгметалла является основой при сделках купли-продажи.

Металлическую ленту преимущественно извлекают непосредственно перед переработкой, ибо с нее сыпается при транспортировке часть полезного активного слоя.

Одной из проблем рециклинга катализаторов является анализ содержания ценных металлов в каталитической массе. В качестве оперативных методов качественного и полуколичественного анализа применяют методы, способные анализировать образцы в твердом состоянии. Среди таких методов наиболее распространенными являются: 1) метод

рентгено-флуоресцентного анализа (РФА); 2) атомно-абсорбционный метод с плазменной и электротермической атомизацией (ААС); 3) нейтронно-активационный анализ (НАА).

Основным достоинством нейтронно-активационного анализа является низкий предел обнаружения элементов, что важно ввиду малой распространенности металлов платиновой группы. Однако НАА существенно уступает другим методам по доступности, стоимости оборудования и проведения анализа, производительности и точности определения. Кроме того, метод НАА связан с повышенными требованиями к технике безопасности. Поэтому в последнее время наряду с ним все чаще предлагают использовать альтернативные методы определения платиноидов в твердых образцах. Метод ААС способен определять содержание МПГ и в твердых образцах, и в растворах. Степень обнаружения в жидком состоянии может составлять $10^{-6}\%$, а в твердом $10^{-4}\%$ - $10^{-6}\%$. Метод РФА наиболее привлекателен для анализа твердых образцов, поскольку приборы доступны и имеют сравнительно невысокую стоимость. Минимально определяемая концентрация $10^{-3}\%$. Перечисленные методы анализа существенно различаются по аналитическим характеристикам и по стоимости оборудования и вспомогательных материалов. Некоторые из этих характеристик приведены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристики методов анализа

Метод	Стоимость оборудования, \$	Стоимость расходных материалов и реагентов	Агрегатное состояние анализируемой пробы	Минимально определяемая концентрация, %	Наличие образцов сравнения	Время измерения на образец	Количество одновременно определяемых элементов
РФА	50000	Низкая	Твердая	$10^{-3}\%$	Нет	40 мин	30
ААС	70000	Низкая	Жидкость, твердая	$10^{-4} - 10^{-6}\%$	Есть	5 мин/1элемент	1
ИСП-АЭС	130000	Средняя	Жидкость	$10^{-6}\%$	Есть	10 мин	30
ИСП-МС	350000	Высокая	Жидкость	$10^{-8}\%$	Есть	3 мин	50

Подобный подход позволяет рассортировать первичную партию поступивших катализаторов: с преимущественным содержанием платины и с преимущественным содержанием палладия.

На этапе химического анализа подготовленной к переделу партии каталитического сырья используются преимущественно технологии анализа растворов. Известно, что основным этапом химического анализа является стадия пробоподготовки. Во-первых, при переведении твердого образца в раствор эта стадия является весьма длительной. Во-вторых, при пробоподготовке необходимо количественно перевести все определяемые элементы в растворенное состояние и не внести загрязнения в исследуемый раствор.

При нагревании в автоклаве или с использованием микроволнового излучения хуже всего в царской водке растворяется родий. Чуть лучше растворяется платина. Для палладия результаты разложения в микроволновом поле и на плитке практически одинаковы.

Палладий легко растворяется в царской водке при нагревании, для растворения платины требуется многочасовое нагревание, родий практически не растворяется. Методы анализа растворов различаются чувствительностью и стоимостью оборудования. Необходима выработка рекомендаций по рациональной комплектации оборудованием вторметов.

Исходным сырьем при переработке автокатализаторов служит дисперсная каталитическая масса с высоким содержанием керамики и незначительным содержанием драгметалла. Обогащение этой массы гидрометаллургическими или же пиротехническими методами до стандартных параметров сырья аффинажного производства представляет еще одну отдельную научную проблему, лежащую в сфере металлургии вторичных металлов.

В России выплавка вторичных драгметаллов законодательно разрешена только на лицензированных аффинажных заводах, которых насчитывается всего 10 в стране. Эти предприятия принимают на переработку сырье с содержанием драгметаллов более 10%.

Проблемой является разработка рациональных технологических процессов первичной переработки и обогащения каталитической массы до полупродукта, отвечающего требованиям аффинажного производства, ориентированного на многочисленные предприятия вторичной переработки цветных металлов или же получения, как готового продукта, солей платиноидов, пригодных для прямого использования при производстве новых катализаторов. Для решения этой важной для вторичной металлургии задачи идут двумя путями - гидрометаллургическим методом и методами электропеплава [4; 7; 9; 10].

К примеру, по технологии, приведенной в работе [9], предусмотрено первичное выщелачивание катализаторов серной кислотой при температуре 105-110 °С и трёхкратная промывка нерастворимого носителя водой. Затем проводится сушка при температуре 200 °С и прокалка при 600 °С. В результате получают соли металлов платиновой группы, которые отправляют на аффинажные заводы. Недостатки : большие площади для размещения оборудования; сложность технологической схемы; большой расход реагентов; низкая производительность; появление отходов, утилизация которых затруднена.

Пиротехнические способы переработки катализаторного сырья в большей мере отвечают возможностям отечественной металлургии вторичных цветных металлов, имеющей значительный опыт в части термической переработки медных, свинцовых и алюминиевых сплавов и весьма высокую квалификацию кадров вторметов. В то же время использование известных способов переработки катализаторов, содержащих платиновые металлы, встречает значительные технические трудности и сопряжено с потерями последнего. Предлагаемые технологии более избирательны и ориентированы на переработку определенного каталитического сырья по составу [6]. Исходное мелкодисперсное сырье

плохо пропускает газы для проведения окислительно-восстановительных реакций при переплаве.

В термических методах алюмосиликаты керамических блоков переводятся в шлак, а ценные драгметаллы скапливаются внизу в металле-коллекторе. В качестве металлоколлекторов используют свинец, медь, никель и железо. Свинец имеет наименьшую температуру плавления из перечисленных металлов, что ограничивает его применение для выделения тугоплавких включений. Никель сам дорог на мировом рынке, и использование его в массовых технологических процессах оказывается экономически низкоэффективным. Железо и медь в настоящее время рассматриваются как наиболее эффективные металлоколлекторы. Выбор металла коллектора, обеспечивающего высокий процент извлечения МПГ, при работе с партиями исходного сырья с различными комбинациями содержания платиноидов и др. элементов, включая редкоземельные, представляет собой отдельную проблему. Весьма важен также оптимальный подбор флюсов и температуры плавки с целью уменьшения безвозвратных потерь драгметалла в шлаках и на улёт.

В целом же разработка эффективных технологий электрометаллургического передела для российских предприятий вторичных цветных металлов представляет одну из важнейших проблем в области технологии рециклинга автомобильных катализаторов.

Выводы

1. Дальнейшее ужесточение экологических требований к выбросам выхлопных газов автотранспорта приводит к массовому внедрению катализаторов.
2. Рециклинг платиноидов из автокатализаторов в современных условиях представляет собой крупную проблему, стоящую как перед отечественной металлургией вторичных металлов, так и перед транспортом, требующую комплексного подхода и системного решения технологических, технических, экономических, организационно-правовых вопросов на всех этапах от организации первичного сбора до аффинажного производства.
3. Необходимо создание на качественно новой основе системы переработки отработанных катализаторов, которая одновременно с решением важной экологической задачи, будет способствовать ресурсосбережению, а также созданию новых рабочих мест и улучшению экологической обстановки в регионах.

Список литературы

1. Гагарский Э.А., Кириченко А.С. Ужесточение экологических требований к автомобильным катализаторам и их утилизации // Бюллетень транспортной информации. — 2013. — № 4. — С. 3-7.

2. Гагарский Э.А., Кириченко С.А. Основные направления совершенствования организационно-технологического и коммерческо-правового обеспечения перевозок экспортных легковых автомобилей через морские порты // Бюллетень транспортной информации. — 2006. — № 4. — С. 16-26.
3. Гагарский Э.А., Полянцев Ю.Д. Нормативно-правовые документы должны соответствовать требованиям реализации прогрессивных транспортно-технологических систем // Бюллетень транспортной информации. — 2009. — № 9. — С. 7-13.
4. Кириченко А.С. Опыт переработки катализаторов на «ПЗЦМ-Втормет» // Вторичные металлы. — 2013. — № 2. — С. 50-54.
5. Костыгова Л.А., Алексахин А.В., Гришина О.О. Анализ состояния и перспективы развития рынка платиноидов // Экономика в промышленности. — 2010. — № 2. — С. 57-59.
6. Серегин А.Н., Кириченко А.С. Рециклинг автомобильных катализаторов // Вторичные металлы. — 2013. — № 1. — С. 44-49.
7. Серегин А.Н., Ермолов В.М., Степанян А.С., Арсентьев В.А. Технологии и комплексы оборудования для переработки металлосодержащих отходов с выделением товарной металлопродукции // Проблемы черной металлургии и материаловедения. — 2010. — № 1. — С. 35-40.
8. Стопорева Т.А., Грабовская Н.Н., Унгефук А.А., Павлова Ю.В. Уровни вредных выбросов транспортных дизелей // Ползуновский вестник. — 2009. — № 1-2. — С. 88-92.
9. Темеров С.А., Ефимов В.Н. Способ переработки катализаторов, содержащих платиновые металлы и рений на носителях из оксида алюминия : Патент России № 2306347. 2005.
10. Щипачев В.А. Эффективное извлечение и очистка некоторых металлов платиновой группы из ломов и отходов // Рециклинг отходов. — 2008. — № 6. — С. 22-23.

Рецензенты:

Хлопонин Виктор Николаевич, д.т.н., профессор Национального исследовательского технологического университета «МИСиС», Технический директор «ЗАО ИСТОК-МЛ», г. Москва.

Гагарский Энгельс Александрович, д.т.н., профессор, начальник Центра транспортной координации и транспортно-технологических систем ОАО «Союзморниипроект», г. Москва.