



ЭКОЛОГИЧНОЕ РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ СКОПЛЕНИЯ ТВЕРДЫХ КАТАЛИЗАТОРНЫХ ОТХОДОВ ПРОЦЕССА ДЕГИДРИРОВАНИЯ

Р.Ф. Мулюкова, Я.Р. Янтурина, И.Р. Яушева, Э.К. Аминова, Л.З. Касьянова, А.А. Исламутдинова, Д.С. Бычек

ИХТИ ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» в г. Стерлитамаке, РФ, Республика Башкортостан, г. Стерлитамак, пр. Октября, 2 *E-mail:* k.elmira.k@yandex.ru

Рассмотрены существующие экологические проблемы, вызванные захоронением отходов катализаторов, а именно отработанных железооксидных катализаторов; изучена возможность переработки отходов в пигменты, в частности для приготовления грунтовки, краски для строительной отрасли; проведен анализ физико-химических характеристик исходных компонентов сырья для получения пигмента; получен опытный образец пигмента и лакокрасочного изделия, подходящего для покрытия древесины, бетона и металла, а также масляных красок; проведена оценка нормативных физико-химических показателей образца полученного пигмента в сравнении с используемым в строительной лакокрасочной промышленности пигментом Ж-2.

Ключевые слова: переработка отходов, железооксидный катализатор, экологические проблемы, безопасный состав, пигмент.

Поступила в редакцию: 18.12.2022. После доработки: 31.01.2023.

Введение. На сегодняшний день острой проблемой глобального характера является переработка и последующее использование отходов различных производств. Одним из крупнотоннажных техногенных отходов нефтехимического синтеза являются катализаторы, отслужившие свой срок и не подлежащие дальнейшей эксплуатации и захоронению. На основе данных научных источников, можем смело утверждать, что отходы нефтехимической отрасли со временем будут накапливаться, что приведет к возникновению реальной угрозы токсичного экологического загрязнения подземных и наземных вод, а также почв в зонах складирования отходов, всё это представляет огромную опасность для экологической обстановки окружающей среды [1–3]. Вопрос переработки отработанных катализаторов в настоящее время является очень актуальным в связи с ростом экологических проблем, возникающих при их утилизации, и в связи с развитием малоотходных и безотходных технологий.

Из приведенных выше данных следует, что многие существующие производства нуждаются в экологичном ре-

шении проблемы переработки отходов, и требуют особого внимания к возможности использования различных отходов на лакокрасочных предприятиях строительной промышленности.

Так, в Российской Федерации особый интерес в изучении представляет получение пигментов на основе отходов нефтехимической и химической промышленности. Ведь проблема рационального использования отходов процесса дегидрирования олефиновых и алкилароматических углеводородов считается актуальной на данный момент.

Целью работы является переработка отходов на основе отработанных железооксидных катализаторов для получения пигментов, приносящих наименьший вред окружающей среде и решающих проблему с захоронением нефтехимических отходов.

Ход работы, методы и полученные результаты. В работе представлено следующее решение данной проблемы: изготавливать из отработанных железооксидных катализаторов пигмент, который будет применяться в производстве красок, грунтовок, антикоррозионных покрытий для атмосферных условий, а так-

же может использоваться в качестве объемного красителя в составе декоративно-бетонных изделиях.

Технология получения пигмента заключается в освобождении отработанного катализатора от водорастворимых компонентов, сушки и измельчении до технических норм и требований для пигментов.

Катализатор железоксидный отработанный образуется в процессах дегидрирования олефинов и алкилароматических углеводородов. Агрегатное состояние – твердый сыпучий материал, степень вредного воздействия опасных отходов на окружающую природную среду (ОПС) – средняя. Технологические отработанные железоксидные катализаторы содержат до 80% соединений Fe_2O_3 и порядка 20% водорастворимых соединений.

В ходе работы исследовались качественные характеристики пигмента согласно требованиям и нормам по физико-химическим показателям железоксидного пигмента [4].

Определение массы железа [4], соответствующей 1 см³ раствора трилона Б, концентрация 0,05 моль/дм³. 50 см³ стандартного раствора железа с массовой концентрацией 1 мг/см³ помещаем в коническую колбу вместимостью 250 см³ и разбавляем дистиллированной водой до 100 см³, добавляя насыщенный раствор уксуснокислого натрия, доводим рН раствора до 2,0–3,0 по универсальной индикаторной бумаге. Приливаем 5 см³ раствора сульфосалициловой кислоты, с массовой долей кислоты 5%, далее нагреваем до 50–70° С и титруем раствором трилона Б до перехода окраски из темно-вишневой в лимонно-желтую.

Массу железа (А) в граммах, соответствующую 1 см³ раствора трилона Б, вычисляем по формуле

$$A = \frac{V_1 \cdot m}{V}, \quad (1)$$

где V_1 – объем стандартного раствора железа, взятый для титрования, см³; V – объем раствора трилона Б, израсходо-

ванный на титрование, см³; m – масса железа в 1 см³ стандартного раствора, г.

По результатам титрования масса железа составляет

$$A = \frac{50 \cdot 0,1010}{25,6} = 0,1973 \text{ г.} \quad (2)$$

Определение массовой доли железа в пересчёте на Fe_2O_3 . 0,1000 г железоксидного пигмента помещаем в коническую колбу вместимостью 250 см³ и растворяем при нагревании в 30 см³ раствора соляной кислоты. Раствор охлаждаем, разбавляем водой до 100 см³ и, добавляя насыщенный раствор уксуснокислого натрия, доводим рН раствора до 2,0–3,0. Приливаем 5 см³ раствора сульфосалициловой кислоты, далее нагреваем до 50–70°С и титруем раствором трилона Б до перехода окраски из темно-вишневой в лимонно-желтую. Массовую долю соединения железа в пересчёте на (Fe_2O_3) (X_1) в процентах вычисляем по формуле

$$X_1 = \frac{V \cdot A \cdot 1,4297}{m} \cdot 100, \quad (3)$$

где V – объем раствора трилона Б, израсходованный на титрование, см³; A – масса железа, соответствующая 1 см³ раствора трилона Б, г; 1,4297 – коэффициент пересчета Fe на Fe_2O_3 ; m – масса навески пигмента, г.

Результаты определения показали, что массовая доля железа в пересчете на Fe_2O_3 составила

$$X_1 = \frac{0,3 \cdot 0,1973 \cdot 1,4297}{0,1010} \cdot 100 = 83,79\%. \quad (4)$$

Определение массовой доли веществ, растворимых в воде по [5], методом горячей экстракции. 10 г железоксидного пигмента в стакане смачиваем небольшим количеством воды. Добавляем 200 см³ воды, содержимое стакана перемешиваем и кипятим в течение 5 мин. Полученную суспензию быстро охлаждаем до комнатной температуры, переносим в мерную колбу вместимостью 250 см³ и доводим объем до метки дистиллированной водой. Содержимое

колбы тщательно перемешиваем и фильтруем через коллоидный фильтр до получения прозрачного фильтрата. Отбираем 100 см³ фильтрата, переносим в предварительно взвешенную выпарительную чашку и выпариваем досуха на водяной бане. Содержимое чашки сушим в сушильном шкафу при (105±2)°С, охлаждаем в эксикаторе и взвешиваем с точностью до 1 мг. Нагревание и охлаждение повторяли до тех пор, пока результаты двух последних взвешиваний с интервалом, включающим нагревание в течение 30 мин, не отличались на 10% от окончательного результата, характеризующего содержание веществ, растворимых в воде, в пигменте. Массовую долю веществ, растворимых в воде, (X) определяем по формуле

$$X = \frac{250 \cdot m_1}{m_0}, \quad (5)$$

где m_1 – масса навески испытуемого пигмента, г; m_0 – масса остатка после высушивания, г.

Содержание растворимых в воде веществ составляет

$$X = \frac{250 \cdot 0,0320}{10,0046} = 0,7996. \quad (6)$$

Определение массовой доли воды и летучих веществ по [6]. Железоокисный пигмент массой 5 г распределяем равномерным слоем на дне бюкса для взвешивания, закрываем бюкс крышкой и взвешиваем с погрешностью не более 1 мг. Бюкс с испытуемым пигментом с открытой крышкой помещаем в сушильный шкаф и высушиваем в течение 1 ч при температуре (105±2)°С. Закрываем бюкс крышкой, охлаждаем в эксикаторе и взвешиваем. Нагревание и охлаждение продолжаем до тех пор, пока результаты двух последних взвешиваний, с интервалом, включающим нагревание в течение минимум 30 мин, не будут отличаться больше чем на 5 мг. Массовую долю летучих веществ при 105°С (X) в процентах вычисляем по формуле

$$X = \frac{(m_0 - m_1) \cdot 100}{m_0}, \quad (7)$$

где m_0 – масса навески, г; m_1 – масса навески после высушивания, г.

Проведенные измерения показали, что содержание веществ, растворенных в воде составляет

$$X = \frac{(5,0046 - 4,9301) \cdot 100}{5,0046} = 1,4886\% \quad (8)$$

Определение маслосодержания по [7] с помощью стеклянной палочки. Взвешиваем железоокисный пигмент массой 5 г с погрешностью не более 0,01 г и помещаем в тигель. Из бюретки периодически прибавляем в тигель по 4–5 капель рапсового масла. После каждого прибавления, продукт перемешиваем стеклянной палочкой. Прибавление масла продолжаем до тех пор, пока не начнут образовываться отдельные комочки. С этого момента добавляем по капле масла и после каждого добавления продукт тщательно перемешиваем палочкой. Масло добавляем до получения однородной пасты, которая должна быть без трещин, не должна крошиться и растекаться. Общее время перемешивания составляет 20–25 мин, в течение которого всю массу нужно перемешивать с максимальным усилием. Маслосодержание (X) в кубических сантиметрах на 100 г продукта вычисляем по формуле

$$X = \frac{V}{m} \cdot 100, \quad (9)$$

где V – объём рапсового масла, израсходованного во время испытания, см³; m – масса испытуемого продукта, г.

Маслосодержание исследуемого пигмента в процентах

$$X = \frac{2}{5} \cdot 100 = 40\%. \quad (10)$$

Маслосодержание (X₁) в граммах на 100 г продукта вычисляем по формуле

$$X = \frac{0,92 \cdot V}{m} \cdot 100, \quad (11)$$

где 0,92 – плотность рапсового масла.

Маслоемкость исследуемого пигмента в граммах

$$X = \frac{0,92 \cdot V}{m} \cdot 100 = 36,8. \quad (12)$$

Определение укрывистости по [8].

Для проведения опыта берем 6 г железокисного пигмента и 15 г натуральной льняной олифы. Пигмент предварительно растираем с натуральной олифой, затем пигментную пасту разбавляем олифой до получения готовой к применению краски. На стеклянную пластинку, подготовленную и взвешенную с точностью до четвертого десятичного знака, наносим один или два слоя этой краски. Окрашенную стеклянную пластинку кладём на шахматную доску и наблюдаем при рассеянном дневном свете, просвечивают ли белые и черные поля. Если поля просвечивают, наносим на пластинку последовательно новые слои краски до тех пор, пока полностью не исчезнет разница между белыми и черными полями. Затем стеклянную пластинку взвешиваем с точностью до четвертого десятичного знака, сушим и снова взвешиваем. Перед взвешиванием и высушиванием удаляем потеки краски с обратной стороны и с ребер пластинки. Каждый раз перед нанесением нового слоя краску перемешиваем. Пластинки размером 180×240 мм взвешиваем с точностью до второго десятичного знака. Укрывистость пигмента (D_{Π}), $г/м^2$, вычисляем по формуле

$$D_{\Pi} = \frac{(m'_1 - m_0) \cdot m_{\Pi}}{S \cdot (m_3 + m_{\Pi})} \cdot 10^6, \quad (13)$$

где m_0 – масса неокрашенной стеклянной пластинки, г; m'_1 – масса пластинки с невысушенной краской, г; m_{Π} – масса пигмента в краске, г; m_3 – масса олифы, израсходованная для приготовления краски из пигмента, г; S – площадь стеклянной пластинки, $мм^2$.

Расчеты показали, что укрывистость пигмента в невысушенном покрытии составляет

$$D_{\Pi} = \frac{(117,7000 - 113,9800) \cdot 6,0070}{50400 \cdot (16,1987 + 6,0070)} \times 10^6 = 19,9667 \%. \quad (14)$$

Определение остатка после сухого просеивания по [9]. Навеску исследуемого пигмента массой 10 г, предварительно высушенного до постоянной массы при $(105 \pm 2)^{\circ}C$, взвешиваем с погрешностью не более 0,01 г и помещаем в сито с плотной крышкой и поддоном. Просеивание сначала проводим вручную, встряхивая сито, затем при помощи кисти до полного просеивания. Для контроля полноты просеивания снимаем поддон, сито с крышкой встряхиваем над листом белой бумаги. Испытание считают законченным, если после одноминутного просеивания при помощи кисти на листе бумаги не будет обнаружено видимого на глаз отсеянного пигмента. Оставшиеся на сите и кисти твердые частицы количественно переносим с помощью мягкой кисти на предварительно взвешенный бюкс и взвешиваем с погрешностью не более 0,0002 г. Содержание остатка на сите после сухого просеивания (X) в процентах вычисляем по формуле

$$X = \frac{m_1 \cdot 100}{m}, \quad (15)$$

где m – масса продукта, г; m_1 – масса сухого остатка, г.

Сухой остаток исследуемого пигмента составляет:

$$X = \frac{0,13 \cdot 100}{10} = 1,3\%. \quad (16)$$

Определение pH водной суспензии пигмента по [10]. Готовим в колбе 10% суспензию исследуемого пигмента в дистиллированной воде и помещаем ее в чистый сосуд. Сосуд закрываем пробкой и энергично встряхиваем в течение 1 мин. Даём суспензии отстояться в течение 5 мин. Открываем пробку и определяем значение pH водной суспензии с точностью до 0,1. Испытуемый пигмент плохо диспергируется в воде, поэтому добавляем к нему 5 $см^3$ смачивающего реагента – этилового спирта. Величина pH = 6,0.

Общие сравнительные данные, полученные в ходе исследования, представлены в табл. 1.

Таблица 1. Сравнение нормативных физико-химических показателей пигмента марки Ж-2 [4] и полученных экспериментальных данных для пигмента из отработанных железоксидных катализаторов (формулы 4, 6, 8, 12, 14, 16)

Наименование показателя	Норма для марки Ж-2	Исследуемый пигмент	Метод испытания
1. Массовая доля соединений железа в пересчете на Fe ₂ O ₃ , %, не менее	84	83,79	По ГОСТ 18172-80 и п. 4.3.
2. Массовая доля веществ, растворимых в воде, %, не более	0,8	0,7996	По ГОСТ 21119.2-75 и п. 4.4. настоящего стандарта
3. Массовая доля воды и летучих веществ, %, не более	1,5	1,4886	По ГОСТ 21119.1-75 и п. 4.5. настоящего стандарта
4. pH водной вытяжки	4,0-7,0	6,0	По ГОСТ 21119.3-75
5. Маслосмолность, г/100 г пигмента	35-60	36,8	По ГОСТ 21119.8-75 и п. 4.7. настоящего стандарта
6. Укрывистость, г/м ² , не более	20	19,9667	По ГОСТ 8784-75 и п. 4.8. настоящего стандарта
7. Остаток после сухого просеивания на сите с сеткой 016, %, не более	Не нормируется	1,3	По ГОСТ 21119.4-75 и п. 4.11 настоящего стандарта

Сравнив полученные данные, отметим, что нормативные физико-химические показатели пигмента из отработанных железоксидных катализаторов соответствуют показателям, используемого в строительной лакокрасочной промышленности пигмента Ж-2. Соответственно, он может быть использован в качестве пигмента в производстве красок, грунтовок, антикоррозионных покрытий для атмосферных условий, а также может использоваться в качестве объемного красителя в составе декоративно-бетонных изделий.

В рамках эксперимента был изготовлен и испытан образец пигмента из отработанного железоксидного катализа-

тора. Полученный нами пигмент на основе отработанного железоксидного катализатора растирали и добавляли в олифу в отношении 1:2,5 и наносили на различную поверхность: древесина, бетон, металл в 1–2 слоя. Испытание подготовленного состава проходило в атмосферных условиях (на воздухе). Продолжительность испытания – 30 суток, физическое состояние покрытия не изменилось; наличие вздутий, отслоений, неравномерного изменения цвета – не обнаружены.

В связи с этим, можем утверждать, что отработанный железоксидный катализатор является отличной альтернативой предложенным на рынке в данный

момент, так как его производство будет экономически выгоднее за счет смены сырья на отход производства, а также поможет в экологическом решении проблемы скопления отходов отработанных катализаторов нефтехимического синтеза.

Выводы. В ходе настоящей работы были рассмотрены существующие экологические проблемы от скопления отработанного катализатора; изучена возможность переработки твердых отходов производства в виде отработанного железоксидного катализатора в пигмент. Проведен анализ физико-химических характеристик исходных компонентов сырья для получения пигмента; сравнение нормативных физико-химических показателей пигмента из отработанных железоксидных катализаторов и пигмента марки Ж-2, используемым в строительной лакокрасочной промышленности.

В России культура переработки вторсырья еще не развита с точки зрения организации безотходных технологии. Использование отработанных катализаторов в качестве исходного сырья для производства пигментов ведет к переходу процессов дегидрирования в разряд малоотходных технологий. Что еще раз подчеркивает важность и актуальность освещаемой темы.

Получение пигмента и производство изделий хозяйственного назначения очень перспективное направление в промышленности, а именно в переработке отработанного катализатора. Так правильная организация безотходного производства или утилизации отработанных катализаторов позволит российским потребителям железоксидного катализатора повысить уровень доходов, и в улучшении экологической ситуации в России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прохорова А.А., Черниловская И.Е. Регенерация и утилизация катализаторов гидрогенизационных процессов за рубежом // Химия и технология топлив и масел. 1986. № 9. С. 45–46.
2. Степанов Е.Г., Котельников Г.Р., Кужин А.В., Качалов Д.В. Разработка

методов квалифицированного использования отработанных железоксидных катализаторов дегидрирования алкилароматических и олефиновых // Известия Вузов. Химия и хим. технология. 2003. Т. 46, вып. 9. С. 68–71.

3. Егоров А.Н. Утилизация отработанных катализаторов нефтехимических производств как актуальная экологическая проблема // Вестник Тобольского государственного педагогического института им. Д.И. Менделеева. 2009. Т. 15. № 1. С. 9–16.

4. ГОСТ 18172-80 Пигмент желтый железоксидный. Технические условия (с Изменением № 1) / ГОСТ от 1 января 1981 г. № 18172-80.

5. ГОСТ 21119.2-75 Общие методы испытаний пигментов и наполнителей. Определение массовой доли веществ, растворимых в воде 1 (с Изменениями № 1, № 2) / ГОСТ от января 1977 г. № 21119.2-75.

6. ГОСТ 21119.1-75 Общие методы испытаний пигментов и наполнителей. Определение массовой доли воды и летучих веществ (с Изменениями № 1, № 2, № 3) / ГОСТ от 1 января 1977 г. № 21119.1-75.

7. ГОСТ 21119.8-75 Общие методы испытаний пигментов и наполнителей. Определение маслосодержания (с Изменениями № 1, № 2) / ГОСТ от 1 января 1977 г. № 21119.8-75.

8. ГОСТ 8784-75 Материалы лакокрасочные. Методы определения укрывистости (с Изменениями № 1, № 2) / ГОСТ от 1 января 1976 г. № 8784-75.

9. ГОСТ 21119.4-75 Общие методы испытаний пигментов и наполнителей. Методы определения остатка на сите (с Изменением № 1) / ГОСТ от 1 января 1977 г. № 21119.4-75.

10. ГОСТ 21119.3-91 Общие методы испытаний пигментов и наполнителей. Определение pH водной суспензии / ГОСТ от 1 января 1993 г. № 21119.3-91.

11. Степанов Е.Г., Котельников Г.Р., Кужин А.В., Качалов Д.В. Физико-химические свойства и применение порошков, полученных из отработанных катализаторов дегидрирования // Катализ в промышленности. 2003. № 6. С. 27–31.

AN ECO-FRIENDLY SOLUTION TO THE PROBLEM OF ACCUMULATION OF SOLID CATALYST WASTE OF THE DEHYDROGENATION PROCESS

R.F. Mulyukova, Y.R. Yanturina, I.R. Yausheva, E.K. Aminova,
L.Z. Kasyanova, A.A. Islamutdinova, D.S. Bychek

Institute of Chemical Technology and Engineering, Ufa State Petroleum Technical University
in Sterlitamak, RF, Republic of Bashkortostan, Sterlitamak, October Av., 2
E-mail: k.elmira.k@yandex.ru

The existing environmental problems resulting from the disposal of waste catalysts, namely, spent iron oxide catalysts, were addressed. The possibility of recycling waste into pigments, in particular for the preparation of primers, paints for the construction industry, was analyzed. The analysis of the physico-chemical characteristics of the initial components of raw materials for the production of pigments was carried out. A prototype of a pigment and a paint product suitable for covering wood, concrete and metal, as well as oil paint were obtained. The normative physico-chemical parameters of the obtained pigment sample in comparison with the pigment Zh-2 used in the construction paint industry were evaluated.

Keywords: waste processing, iron oxide catalyst, environmental problems, safe composition, pigment.

REFERENCES

1. Prokhorova A.A. and Chernilovskaya I.E. Regeneraciya i utilizaciya katalizatorov gidrogenizatsionnyh processov za rubezhom (Regeneration and utilization of catalysts of hydrogenation processes abroad). *Chemistry and technology of fuels and oils*, 1986, No. 9, pp. 45–46.
2. Stepanov E.G., Kotelnikov G.R., Kuzhin A.V., and Kachalov D.V. Razrabotka metodov kvalificirovannogo ispol'zovaniya otrabotannyh zhelezooksidnyh katalizatorov degidrirovaniya alkilaromaticeskikh i olefinovyh (Development of methods of qualified use of processed iron oxide catalysts for dehydrogenation of alkylaromatic and olefin hydrocarbons). *Izvestiya Vuzov, Chemistry and chemical technology*, 2003, Vol. 46, Is. 9, pp. 68–71.
3. Egorov A.N. Utilizaciya otrabotannyh katalizatorov neftekhimicheskikh proizvodstv kak aktual'naya ekologicheskaya problema (Utilization of manufactured catalysts of petrochemical industries as an actual ecological problem). *Bulletin of the Tomsk State Pedagogical Institute named after D.I. Mendeleev*, 2009, Vol. 15, No. 1, pp. 9–16.
4. GOST 18172-80 Pigment zheltiy zhelezookisnyj (Yellow iron oxide pigment. Technical specifications) (with Changes No. 1). GOST №18172-80 dated January 1, 1981.
5. GOST 21119.2-75 Obshchie metody ispytaniy pigmentov i napolnitelej. Opredelenie massovoj doli veshchestv, rastvorimyh v vode (General test methods for pigments and fillers. Determination of the mass fraction of substances soluble in water) (with Changes No. 1, No. 2). GOST № 2119.2-75 dated January 1, 1977.
6. GOST 2119.1-75 Obshchie metody ispytaniy pigmentov i napolnitelej. Opredelenie massovoj doli vody i letuchih veshchestv (General test methods for pigments and fillers. Determination of the mass fraction of water and volatile substances) (with Changes No. 1, No. 2, No 3). GOST №2119.1-75 dated January 1, 1977.
7. GOST 2119.8-75 Obshchie metody ispytaniy pigmentov i napolnitelej. Opredelenie massovoj doli vody i letuchih veshchestv (General test methods for pigments and fillers. Determination of oil capacity) (with Changes No. 1, No. 2). GOST №2119.8-75 dated January 1, 1977.
8. GOST 8784-75 Materialy lakokrasochnye. Metody opredeleniya ukryvistosti (Materials are varnished and colorful. Methods for determining the hiding power) (with Changes No. 1, No. 2). GOST №8784-75 dated January 1, 1976.
9. GOST 2119.4-75 Obshchie metody ispytaniy pigmentov i napolnitelej. Metody opredeleniya ostatka na site (General test methods for pigments and fillers. Methods for determining the residue on the sieve) (with Changes No. 1). GOST № 2119.4-75 dated of January 1, 1977.
10. GOST 2119.3-91 Obshchie metody ispytaniy pigmentov i napolnitelej. Opredelenie pH vodnoj suspenzii (General methods for testing pigments and fillers. Determination of the pH of an aqueous suspension). GOST № 2119.3-91 dated January 1, 1993.
11. Stepanov E.G., Kotelnikov G.R., Kuzhin A.V., and Kachalov D.V. Fiziko-himicheskie svoystva i primenenie poroshkov, poluchennyh iz otrabotannyh katalizatorov degidrirovaniya (Physico-chemical Properties and Applications of Powders Obtained from Spent Dehydrogenation Catalysts). *Kataliz v promyshlennosti*, 2003, No. 6, pp. 27–31.