

УДК 621.357.7

И. М. Жарский, И. И. Курило, Е. В. Крышилович, Д. С. Харитонов
Белорусский государственный технологический университет

СИНТЕЗ ПИГМЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ ВАНАДИЙСОДЕРЖАЩИХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

Представлены результаты исследований элементного состава ванадийсодержащих промышленных отходов ряда предприятий Республики Беларусь. Показана целесообразность их переработки, обусловленная рентабельностью производства, необходимостью расширения сырьевой базы на остродефицитный ванадий и снижения экологической нагрузки на природную среду. Изучены составы ванадийсодержащих продуктов, выделенных из промышленных отходов гидрометаллургическим методом. Установлено, что содержание ванадия в них в пересчете на V_2O_5 может достигать более 85 мас. %, что отвечает требованиям ТУ на технический оксид ванадия (V). Предложена методика сольвотермического и сонохимического синтеза ванадата висмута на основе оксида ванадия (V), полученного в результате переработки отработанных ванадиевых катализаторов сернокислотного производства. Изучен фазовый и элементный состав синтезированных порошков ортованадата висмута, их размерно-морфологические и колористические характеристики, физико-химические свойства: маслосмолемкость, pH водной вытяжки, размер частиц. Показано, что ультразвуковая обработка суспензий позволяет интенсифицировать процесс синтеза в 4–5 раз, способствует получению частиц более ровной сферической формы, но приводит к увеличению размеров частиц порошка и несколько ухудшает колористические свойства пигмента. Установлена целесообразность использования продуктов переработки ванадийсодержащих промышленных отходов для синтеза лакокрасочных пигментов на основе $BiVO_4$.

Ключевые слова: ванадийсодержащие отходы, переработка, сольвотермический синтез, пигменты, состав, свойства.

I. M. Zharskiy, I. I. Kurilo, Ye. V. Kryshilovich, D. S. Kharitonov
Belarusian State Technological University

SYNTHESIS OF PIGMENTS USING PRODUCTS OF VANADIUM CONTAINING INDUSTRIAL WASTE UTILIZATION

The results of studies of the elemental composition of vanadium-containing industrial waste have been presented. The expediency of its processing due to the profitability of production, the necessity of expanding the raw material base for short supply of vanadium and reducing of negative effects on the environment has been shown. Composition of products extracted from industrial vanadium-containing waste by hydrometallurgical method has been studied. The content of vanadium are based on V_2O_5 can reach more than 85 wt. %, that meets specifications for this reagent. Solvothermal and sonochemical methods of bismuth vanadate synthesis from obtained vanadium (V) oxide have been developed. The phase and elemental composition of synthesized bismuth orthovanadate powders, their size, morphological and coloristic characteristics, physical and chemical properties: oil absorption, pH of the aqueous extract, particle size has been studied. It was shown that ultrasonic treatment of a suspension in the synthesis allows to intensify the process in 4–5 times, contributes to obtaining a smooth spherical particle shape, but also leads to an increase in particle size deteriorates powder and several coloristic properties of the pigment. The expediency of using products of vanadium-containing industrial waste treatment for the synthesis of paint pigments $BiVO_4$ has been shown.

Key words: vanadium-containing waste, recycling, solvothermal synthesis, pigments, composition, properties.

Введение. Дефицит ванадиевой продукции в Республике Беларусь как одного из основных элементов легирования стали, сырья для изготовления катализаторов, пигментов, цветных эмалей, глазурей и стекол оценивается десятками тонн. Потенциальным источником вторичного ванадийсодержащего сырья являются отработанные ванадиевые катализаторы сернокислотного производства (ОВК), твердые про-

дукты сгорания углеводородного сырья на тепловых электростанциях и продукты глубокой переработки нефти: кокс термомоноконтантного крекинга, гудрон. Суммарный объем ванадийсодержащих отходов на предприятиях Республики Беларусь в настоящее время составляет около 11 тыс. т. Концентрация ванадия в промышленных отходах в 10–100 раз превышает его содержание в традиционном рудном сырье (табл. 1).

Кроме повышенного содержания соединений ванадия в ванадийсодержащих промышленных отходах, ценность их как источника вторичного сырья заключается в том, что они не требуют дополнительных этапов добычи, обогащения, агломерации, доменной плавки и удаления ванадия из чугуна в конверторах.

Актуальность переработки ванадийсодержащих промышленных отходов обусловлена не только рентабельностью производства, но и обостряющейся экологической ситуацией в Республике Беларусь. Если ранее предприятия могли вывозить ванадийсодержащие отходы в Российскую Федерацию на переработку, то после вступления в силу Базельской конвенции о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением отечественные предприятия вынуждены организовывать долгосрочное хранение данных видов отходов, относящихся ко второму классу опасности, на своих территориях. Складирование ванадийсодержащих отходов сопряжено с изъятием земель под шламо- и хвостохранилища, загрязнением поверхностных стоков и подземных вод, а также приземной атмосферы и почв токсичными компонентами, распространяющимися на значительные расстояния.

Поэтому разработка эффективных способов переработки ванадийсодержащих про-

мышленных отходов и рационального использования выделенных продуктов обеспечивает решение двух основных задач: расширение сырьевой базы на остродефицитный металл и снижение экологической нагрузки на природную среду.

Основная часть. В Белорусском государственном технологическом университете разработаны гидрометаллургические способы выделения ванадийсодержащих компонентов из промышленных отходов, образующихся на предприятиях Республики Беларусь: ОВК типа сульфованадата на силикагеле [1, 2] и зольных остатков ванадийсодержащих шламов ТЭС [3, 4]. Предложенные способы позволяют выделять 95–98% ванадия, содержащегося в промышленных отходах. Содержание ванадия в продукте, выделенном из растворов выщелачивания в процессе термогидролиза, зависит от состава исходного отхода и способа переработки (табл. 2) [1–4].

Как видно из представленных данных, содержание ванадия в выделенном продукте в пересчете на V_2O_5 может достигать более 85 мас. %, что отвечает требованиям ТУ на технический оксид ванадия (V). Поэтому представлялось целесообразным изучить возможные способы использования полученных вторичных ванадийсодержащих соединений.

Таблица 1

**Усредненные составы
промышленных ванадийсодержащих отходов**

| Вид отхода | Содержание элементов, мас. % | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | C | O | Na | Mg | Al | Si | S | Cl | K | Ca | V | Fe | Cu | Zn | Ni |
| Отработанные ванадиевые катализаторы ОАО «Гродно «Азот» (г. Гродно) | 10,30 | 43,39 | 2,01 | – | <1 | 18,9 | 10,2 | – | 9,09 | <1 | 4,20 | <1 | <1 | <1 | – |
| Ванадийсодержащие шламы ТЭЦ-3 (г. Минск) | 19,83 | 23,68 | – | 1,03 | 0,54 | 1,46 | – | – | – | 48,6 | 0,17 | 4,60 | – | – | – |
| Ванадийсодержащие шламы РУП «БрестЭнерго» филиал «Березовская ГРЭС» (г. Белоозерск) | 10,08 | 37,74 | – | 4,11 | 0,49 | 9,69 | 0,40 | – | – | 14,1 | 1,21 | 22,1 | – | – | – |
| Зола от сжигания мазута РУП «БрестЭнерго» филиал «Березовская ГРЭС» (г. Белоозерск) | 20,92 | 34,05 | – | 0,57 | 0,99 | 1,97 | 12,9 | 19,0 | – | 19,0 | 1,77 | 7,79 | – | – | – |
| Зола от сжигания мазута КУП «Витебский кондитерский комбинат «Витьба» (г. Полоцк) | 6,46 | 33,84 | 0,17 | 0,54 | 0,9 | 2,25 | 17,2 | – | 0,63 | 24,7 | 2,94 | 6,96 | 0,52 | 1,74 | 1,08 |

Таблица 2

Составы ванадийсодержащих продуктов, выделенных при переработке промышленных отходов

| Вид ванадийсодержащего отхода | Способ переработки | Способ выделения соединений ванадия из растворов | Содержание элементов, мас. % | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|---|------------------------------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|-----|-----|-----|
| | | | O | Na | Mg | Al | Si | S | Cl | K | Ca | V | Fe | Cu | P | Zn |
| Зольные остатки ванадийсодержащих шламов ТЭС | Выщелачивание HCl в присутствии окислителя | Термогидролиз | 24,8 | 0,8 | 0,4 | 0,5 | 0,2 | 0,6 | 0,3 | 0,1 | 4,2 | 26,2 | 36,3 | - | 5,6 | - |
| | Двухстадийное выщелачивание HCl в присутствии окислителя | Термогидролиз | 42,6 | - | - | - | 2,0 | 0,8 | - | 4,9 | - | 48,0 | 1,7 | - | - | - |
| | Окислительный обжиг и выщелачивание H ₂ SO ₄ | Осаждение водным раствором NH ₃ | 38,5 | 17,7 | 1,5 | 2,3 | 5,3 | 0,8 | - | - | 15,4 | 14,5 | 1,6 | 0,6 | - | 1,8 |
| | Окислительный обжиг и двухстадийное выщелачивание H ₂ SO ₄ | Осаждение водным раствором NH ₃ | 40,4 | 4,8 | 10,1 | - | 2,6 | 1,0 | - | 2,8 | 6,0 | 32,2 | - | - | - | - |
| Отработанные катализаторы сернокислотного производства типа сульфованадата на силикагеле | Гидрометаллургический способ переработки [1, 2] | Окисление H ₂ O ₂ , термогидролиз | 42,6 | - | - | - | 2,0 | 0,8 | - | 4,9 | - | 48,0 | 1,7 | - | - | - |
| | | Окисление (NH ₄) ₂ S ₂ O ₈ , термогидролиз | 42,1 | - | - | - | 1,0 | 0,6 | - | 5,2 | - | 48,5 | 2,6 | - | - | - |
| | Электрохимический способ переработки [1] | Анодное окисление | 40,5 | - | - | - | - | - | - | 3,0 | - | 47,7 | 9,1 | - | - | - |
| | | Катодное восстановление | 43,1 | 1,0 | - | 4,7 | - | 4,2 | - | 7,0 | - | 39,0 | 1,0 | 0,1 | - | - |

Одним из перспективных направлений применения ванадийсодержащих продуктов переработки промышленных отходов является синтез на их основе соединений, пригодных для использования в качестве пигментов для лакокрасочной промышленности. В ряде стран из-за ужесточения экологических требований ограничено использование желтых пигментов, содержащих соединения свинца и хрома, и ведется активный поиск альтернативных менее токсичных соединений, таких как ортованадат висмута, который имеет более высокую красящую способность и более чистый желтый оттенок [5, 2].

В настоящее время для синтеза ванадатов используют высокотемпературные и гидрохимические методы [6, 7]. Как правило, спекание оксидов, карбонатов или нитратов металлов с V_2O_5 или NH_4VO_3 требует высоких энергетических затрат, приводит к образованию примесей соединений ванадия в более низких степенях окисления, а также побочных токсичных газообразных продуктов. Более перспективным для синтеза ортованадатов является применение сольвотермического метода с использованием в качестве прекурсоров водных растворов электролитов [6].

Для синтеза использовали оксид ванадия (V), выделенный из ОБК гидрометаллургическим способом и содержащий 48,0 мас. % ванадия, что в пересчете на V_2O_5 составляет 85,7 мас. %, а также $Bi(NO_3)_3 \cdot 5H_2O$ марки «х. ч.».

Морфологию и элементный состав синтезированных продуктов изучали методами сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и энергодисперсионного рентгеновского микроанализа (EDX) на сканирующем электронном микроскопе JSM-5610 LV, оснащенный системой EDX JED-2201, с точностью до 0,5 мас. %.

Рентгенофазовый анализ (РФА) продуктов синтеза выполняли на дифрактометре D8 Advance Bruker AXS (Германия) с использованием CuK_α -излучения. Расшифровку полученных дифрактограмм проводили с применением специализированного программного обеспечения Crystal Impact Match 2, предназначенного для качественного и количественного определения фазового состава и параметров кристаллической решетки, и по справочной базе Crystallography Open Database (COD).

Маслоемкость пигментов и pH 10%-ной водной суспензии образцов ортованадата висмута определяли по стандартным методикам (ГОСТ 21119.8 и ГОСТ 21119.3).

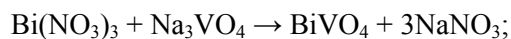
Исследование дисперсности полученных пигментов проводили на лазерном микроанализаторе размеров частиц Analysette 22. Диапазон измерения прибора составляет 0,1–602,5 мкм.

Колористические характеристики полученных пигментов определяли с помощью спектрофотометра ColorDialog II в отраженном свете. Измерения включали в себя установление оптической плотности пигмента и измерение цветовых координат в системе Lab (CIELAB). Методика измерения включает: 1) перетирание пигмента в агатовой ступке до получения однородной смеси с минимально возможным размером зерна исследуемого порошка; 2) нанесение на подложку порошка пигмента и уплотнение слоя до получения ровной гладкой поверхности толщиной не менее 5 мм; 3) определение цветовых характеристик пигмента в трех точках.

Синтез ортованадата висмута включал следующие стадии:

1) растворение ванадийсодержащего продукта в растворе гидроксида натрия (pH \approx 13) и отделение фильтра, содержащего ортованадат натрия [8], от осадка нерастворимых в щелочи примесей;

2) смешивание щелочного раствора ванадата натрия с кислым раствором соли висмута в мольном соотношении $n(Bi):n(V) = 1:1$ с образованием ортованадата висмута:



2) корректировка величины pH полученной смеси до 3,5 введением 30%-ного раствора гидроксида натрия;

3) перемешивание в течение часа при комнатной температуре;

4) постепенное введение 1 н. раствора гидроксида натрия и установление в течение часа величины pH смеси до 6;

5) нагрев смеси и выдерживание ее при температуре кипения в течение 3 ч;

6) охлаждение смеси до комнатной температуры, фильтрование, промывка осадка дистиллированной водой и его сушка при 90°C.

Общая продолжительность синтеза без учета времени сушки составляла около 9 ч. В результате был получен порошок ортованадата висмута ярко-желтого цвета (рис. 1, а).

С целью интенсификации процесса синтеза после сливания водных растворов прекурсоров (стадия 2) проводили корректировку величины pH смеси до 6, а затем сонохимическую обработку в течение 7 мин на ультразвуковой (УЗ) установке с пьезоэлектрическим излучателем при мощности ультразвукового поля, равной 630 Вт, рабочей частоте – $22 \pm 10\%$ кГц, амплитуде колебаний – не менее 40 мкм. Полученный ортованадат висмута (рис. 1, б) выделяли в соответствии со стадиями синтеза 6 и 7. Продолжительность сонохимического синтеза без учета времени сушки составляла около 2 ч.

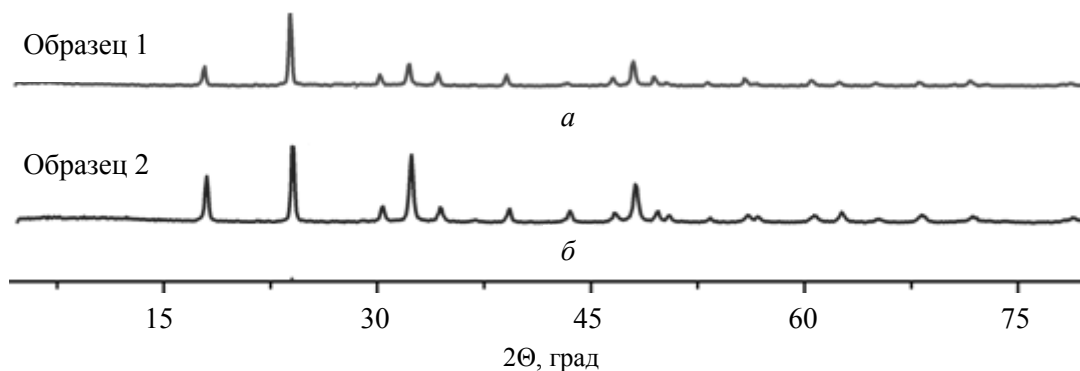


Рис. 1. Рентгеновские дифрактограммы образцов ортованадата висмута:
a – полученные без использования УЗ;
б – полученные с использованием УЗ обработки суспензий

Согласно данным сканирующей электронной микроскопии (рис. 2), частицы, сформированные под воздействием УЗ, имеют более правильную сферическую форму, в отличие от частиц, полученных без сонохимической обработки.

По данным рентгенофазового анализа (рис. 1), полученные образцы являются однофазными, имеют структуру ортованадата висмута и характеризуются тетрагональной сингонией. Рассчитанные параметры объемно-центрированной решетки, представленные в табл. 3, совпадают с литературными данными [6]. Как видно из представленных данных, УЗ обработка практически не влияет на значение параметра c кристаллической решетки, но способствует некоторому уменьшению параметра a и объему V элементарной ячейки.

Элементный анализ полученных соединений показал, что мольное соотношение $n(V):n(Bi)$ составляет 1,06:1,00 и 1,02:1,00

для образцов 1 и 2 соответственно, что может свидетельствовать о наличии в их составе небольшого количества примесей поливанадатов [8].

Для установления возможности использования синтезированных образцов $BiVO_4$ в качестве пигментов для лакокрасочной промышленности были изучены их физико-химические свойства (табл. 4).

Таблица 3
Значения параметров (a , c), межосевого расстояния (c/a) и объема (V) элементарной ячейки синтезированных соединений ортованадата висмута

| Образец | a , Å | c , Å | c/a | V , Å ³ |
|---------|----------|----------|--------|----------------------|
| 1 | 7,306(2) | 6,458(7) | 8,839 | 344,7 |
| 2 | 7,296(1) | 6,454(1) | 0,8846 | 343,5 |

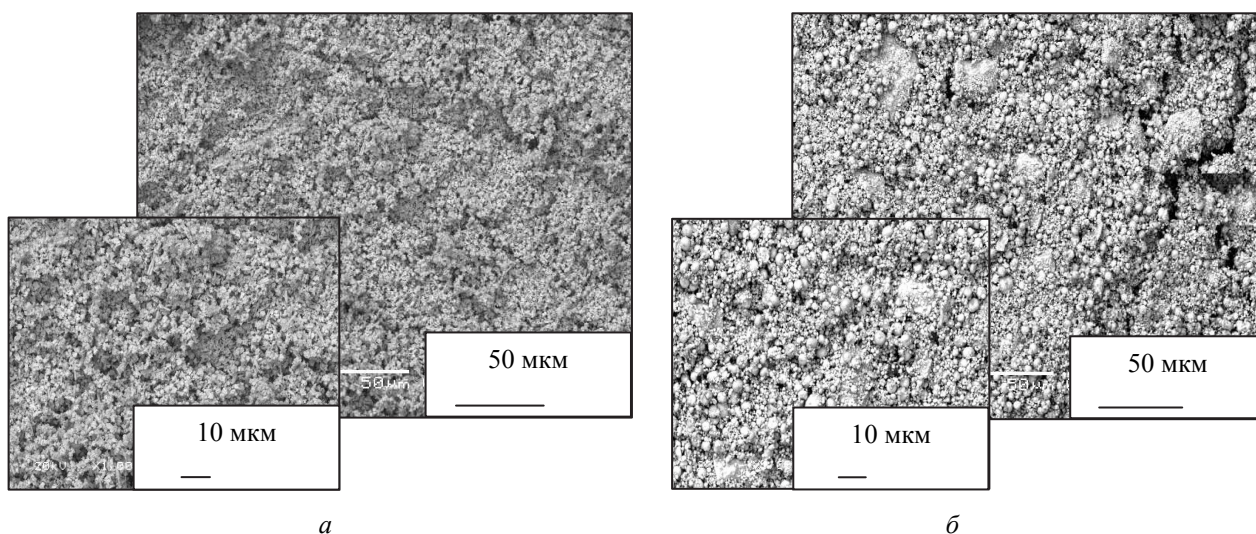


Рис. 2. Электронно-микроскопическое изображение образцов ортованадата висмута:
a – полученные без использования УЗ; *б* – полученные с использованием УЗ обработки суспензий

Таблица 4
Физические свойства синтезированных пигментов

| Показатель | № образца | |
|----------------------------------|------------------|----------------|
| | 1 | 2 |
| Преобладающий размер частиц, мкм | 0,1–2,0 (57%) | 20–50 (51%) |
| рН водной суспензии | 6 | 6 |
| Маслоемкость I рода, г/100 г | 31 | 20 |
| Маслоемкость II рода, г/100 г | 57 | 36 |

Как видно из полученных данных (табл. 4), частицы ортованадата висмута, синтезированного в отсутствие УЗ обработки, имеют достаточно однородный гранулометрический состав: доля основной фракции (57%) составляет от 0,1 до 2,0 мкм. Применение сонохимической обработки приводит к увеличению размеров частиц основной фракции (51%) до 20–50 мкм.

Маслоемкость первого и второго рода для пигмента, полученного без использования УЗ, составляет соответственно 31 и 57 г на 100 г льняного масла, что сравнимо с маслоемкостью хромсодержащих пигментов [9].

Сонохимическая обработка в процессе синтеза ортованадата висмута приводит к снижению его маслоемкости на 63–65%. Снижение маслоемкости можно объяснить увеличением размеров частиц и степени гетеродисперсности порошков BiVO_4 , синтезированных с использованием УЗ. При смачивании полученного пигмента маслом более мелкие частицы могут размещаться между крупными, что приводит к уменьшению объема пустот между частицами и, следовательно, к уменьшению маслоемкости.

Установлено, что рН водной вытяжки суспензий синтезированных образцов равен 6. Это

обеспечивает одно из условий коррозионной устойчивости стальных изделий, находящихся в контакте с лакокрасочным материалом, изготовленным на основе полученных ванадийсодержащих пигментов.

Без сонохимической обработки были получены образцы ярко-желтого цвета, при использовании УЗ – светло-коричневого. При изучении колористических характеристик полученных пигментов сравнение и выбор наиболее подходящего цвета осуществляли путем сравнения координат цвета, полученных в ходе измерений, с координатами, приведенными в каталогах (табл. 5).

Как видно из представленных данных, координаты цвета полученных пигментов соответствуют краскам полиграфического каталога Pantone и технического каталога RAL. По цвету порошки BiVO_4 , полученные сольвотермическим способом, близки к образцам сравнения. При использовании УЗ обработки цвет пигмента изменялся в сторону коричневых оттенков, а также наблюдалось снижение значения координаты L , определяющей яркость цвета.

Заключение. Проведенные исследования показали, что содержание ванадия в отработанных ванадиевых катализаторах типа сульфованадата на силикагеле и зольных остатках ванадийсодержащих шламов ТЭС, образующихся на предприятиях Республики Беларусь, составляет 0,17–4,20 мас. %, что в 10–100 раз превышает его содержание в рудном сырье и, следовательно, обуславливает целесообразность переработки данного вида отходов.

Использование гидromеталлургических способов для переработки ванадийсодержащих промышленных отходов позволяет получать товарный продукт, содержание ванадия в котором в пересчете на V_2O_5 может достигать более 85 мас. %.

Таблица 5

Колористические характеристики полученных пигментов

| Пигмент | Номер измерения | Координаты цвета | | | | | | Номер цвета по каталогу | |
|---|-----------------|------------------|-------|-------|-----------|-----------|-----------|-------------------------|---------|
| | | L | a | b | \bar{L} | \bar{a} | \bar{b} | RAL | Pantone |
| BiVO_4 (х. ч., образец сравнения) | 1 | 62,23 | 25,12 | 72,48 | 62,87 | 23,79 | 71,20 | 1028 | 137C |
| | 2 | 63,23 | 23,12 | 70,58 | | | | | |
| | 3 | 63,15 | 23,14 | 70,54 | | | | | |
| 1 | 1 | 73,25 | 21,21 | 75,36 | 73,58 | 20,86 | 77,39 | 1003 | 130C |
| | 2 | 74,25 | 20,12 | 77,58 | | | | | |
| | 3 | 73,25 | 21,25 | 79,24 | | | | | |
| 2 | 1 | 36,69 | 18,56 | 31,63 | 36,24 | 18,05 | 31,59 | 8003 | 463C |
| | 2 | 36,78 | 17,58 | 31,56 | | | | | |
| | 3 | 37,69 | 21,08 | 17,56 | | | | | |

Синтезированные сольвотермическим и сонохимическим способами с использованием ванадийсодержащих продуктов переработки ОВК образцы ортованадата висмута являются однофазными и характеризуются тетрагональной сингонией. Рассчитанные параметры объемно-центрированной решетки совпадают с литературными данными. УЗ обработка практически не влияет на значение параметра c кристаллической решетки, но способствует некоторому уменьшению параметра a и объема (V) элементарной ячейки.

Частицы ортованадата висмута, синтезированного сольвотермическим способом, имеют достаточно однородный гранулометрический состав, преобладающий размер основной фракции (57%) составляет от 0,1 до 2,0 мкм. Применение сонохимической обработки позволяет интенсифицировать процесс синтеза в 4–5 раз и приводит к формированию частиц более правильной сферической формы, увеличению их размеров до 20–50 мкм (51%), а также степени полидисперсности. Это, в свою очередь, способствует снижению

маслоемкости порошков BiVO_4 , полученных с использованием УЗ, на 63–65%; рН водной вытяжки синтезированных образцов равен 6.

Порошки ортованадата висмута, полученные в отсутствие УЗ обработки, имеют ярко-желтый цвет, сонохимическим способом – светло-коричневый. Изучение колористических характеристик синтезированных образцов показало, что их координаты цвета соответствуют цветам, применяемым в настоящее время в лакокрасочной (каталог RAL) и полиграфической (каталог Pantone) промышленности.

Таким образом, синтезированные на основе продуктов переработки ванадийсодержащих промышленных отходов порошки ортованадата висмута по своим размерно-морфологическим и колористическим характеристикам, физико-химическим свойствам не уступают образцам, полученным из реагентов марки «х. ч.», и могут быть рекомендованы для использования в качестве желтых пигментов в рецептурах лакокрасочных материалов.

Литература

1. Крышилович Е. В. Выделение соединений ванадия из растворов выщелачивания термогидролитическим методом // Весці Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. 2013. № 1. С. 30–35.
2. Орехова С. Е., Крышилович Е. В., Курило И. И. Способ переработки отработанных ванадиевых катализаторов сернокислотного производства: пат. Респ. Беларусь. № 17007; заявл. 02.06.2011; опубл. 30.04.2013.
3. Жарский И. М., Курило И. И., Бычек И. В., Крышилович Е. В. Выделение ванадийсодержащих продуктов из шламов теплоэлектростанций // Труды БГТУ. 2013. № 3: Химия и технология неорган. в-в. С. 3–8.
4. Zharski I. M., Orekhova S. E., Kurilo I. I., Bychek I. V., Kryshilovich E. V. Vanadium-containing wastes recycling for enterprises using fuel oil: high expectations // Proceedings of BSTU. Chemistry and technology of inorganic substances. 2012. No. 3. Pp. 3–6.
5. Беленький Е. Ф., Riskin I. V. Химия и технология пигментов. Л.: Химия, 1974. С. 266, 287.
6. Фотиев А. А. Ванадаты. Состав, синтез, структура, свойства. М.: Наука, 1988. С. 182.
7. Дикерхофф А. Ванадаты висмута. Высокоэффективные желтые пигменты и их применение // Лакокрасочные материалы и их применение. 2009. № 7. С. 16–17.
8. Жарский И. М., Курило И. И., Оскирко О. В. Сольвотермический синтез ортованадата висмута и исследование его свойств как пигмента для лакокрасочной промышленности // Труды БГТУ. 2013. № 3: Химия и технология неорган. в-в. С. 16–18.
9. Индейкин Е. А. Влияние дисперсности на оптическую эффективность хроматических пигментов // Лакокрасочные материалы и их применение. 2000. № 10/11. С. 48–54.

References

1. Kryshilovich E. V. Vanadium compounds extraction from leaching solutions by thermohydrolytic method. *Vestsi Natsyyanal'nyay akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk* [Proceedings of Belarusian national academy of sciences: chemical sciences]. 2013, no. 1, pp. 30–35 (in Russian).
2. Orekhova S. E., Kryshilovich E. V., Kurilo I. I. *Sposob pererabotki otrabotannykh vanadievnykh katalizatorov srnokislotnogo proizvodstva* [Method of sulfuric acid production spent vanadium catalysts treatment]. Patent BY, no. 17007, 2013.
3. Zharski I. M., Kurilo I. I., Bychek I. V., Kryshilovich E. V. Vanadium-containing products extraction from TPS sludge. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2013, no. 3, pp. 3–8 (in Russian).
4. Zharski I. M., Orekhova S. E., Kurilo I. I., Bychek I. V., Kryshilovich E. V. Vanadium-containing wastes recycling for enterprises using fuel oil: high expectations. *Proceedings of BSTU*, 2012, no. 3, pp. 3–6.
5. Belen'ky E. F., Riskin I. V. *Khimiya i tekhnologiya pigmentov* [Chemistry and technology of pigments]. Leningrad, Khimiya Publ., 1974, pp. 266, 287.

6. Fotiev A. A. *Vanadaty. Sostav, sintez, struktura, svoistva* [Composition, synthesis, structure and properties of vanadates]. Mocsow, Nauka Publ., 1988. 182 p.

7. Dikerkhoff A. Bismuth vanadates. Highly effective yellow pigments and its using. *Lakokrasochnie materialy i ih primenenie* [Paint-and-varnish materials and its application], 2009, no. 7, pp. 16–17 (in Russian).

8. Zharskiy I. M., Kurilo I. I., Oskirko O. V. Solvothermal synthesis of bismuth orthovanadate and its study as pigment for paint-and-varnish industry. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2013, no. 3, pp. 16–18 (in Russian).

9. Indeykin E. A. Effect of particle size on the optical efficiency of chromatic pigments. *Lakokrasochnie materialy i ih primenenie* [Paint-and-varnish materials and its application], 2000, no. 10/11, pp. 48–54 (in Russian).

Информация об авторах

Жарский Иван Михайлович – кандидат химических наук, профессор, ректор Белорусского государственного технологического университета. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: root@belstu.by

Курило Ирина Иосифовна – кандидат химических наук, доцент, заведующая кафедрой общей и неорганической химии. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: kurilo@belstu.by.

Крышилович Елена Владимировна – ассистент кафедры общей и неорганической химии. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: kryshilovich@belstu.by

Харитонов Дмитрий Сергеевич – магистрант кафедры химии, технологии электрохимических производств и материалов электронной техники. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: kharitonov@belstu.by

Information about the authors

Zharskiy Ivan Mikhailovich – Ph. D. Chemistry, professor, Rector of Belarusian State Technological University. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: root@belstu.by

Kurilo Irina Iosifovna – Ph. D. Chemistry, associate professor, Head of the Department of General and Inorganic Chemistry. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kurilo@belstu.by

Kryshilovich Yelena Vladimirovna – associate, Department of General and Inorganic Chemistry. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kryshilovich@belstu.by

Kharitonov Dmitriy Sergeevich – undergraduate student, Department of Chemistry, Electrochemical Production Technology and Materials for Electronic Equipment. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kharitonov@belstu.by

Поступила 20.02.2015