

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ/ANALYTICAL CHEMISTRY

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.160s.24>

СОЗДАНИЕ АТТЕСТОВАННЫХ СМЕСЕЙ ВЕЩЕСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДИАТОМИТА И ВАНАДИЕВЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ

Научная статья

Печищев И.В.^{1,*}, Шихалеева М.А.², Абрамов А.В.³

¹ ORCID : 0009-0009-3385-8103;

³ ORCID : 0000-0002-7491-7693;

^{1, 2, 3} Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (i.v.pech[at]mail.ru)

Аннотация

Наиболее распространённым промышленным способом получения серной кислоты является контактный способ, в основе которого лежит окисление сернистого ангидрида до серного кислородом в присутствии ванадиевого катализатора. Для получения максимального выхода продукта при минимальной деградации катализатора важным является контроль первоначального состава как самого ванадиевого катализатора, так и его носителя — природного диатомита.

В данной работе описана методика синтеза аттестованных смесей веществ для определения элементного состава образцов диатомита и приготовленных на их основе ванадиевых катализаторов, используемых при производстве серной кислоты. Авторами было проведено обоснование выбранных контролируемых элементов, определён перечень необходимых для синтеза химических реагентов, описана методика приготовления аттестованных смесей веществ и представлен способ подготовки синтезированных образцов к анализу методом рентгенофлуоресцентного анализа. Также была проведена оценка погрешности содержания для каждого определяемого элемента в синтезированных образцах сравнения.

Ключевые слова: ванадиевые катализаторы, диатомит, катализаторы для контактного способа получения серной кислоты, рентгенофлуоресцентный анализ.

CREATION OF CERTIFIED MIXTURES OF SUBSTANCES FOR CHEMICAL ANALYSIS OF DIATOMITE AND VANADIUM CATALYSTS

Research article

Pechishchev I.V.^{1,*}, Shikhaleeva M.A.², Abramov A.V.³

¹ ORCID : 0009-0009-3385-8103;

³ ORCID : 0000-0002-7491-7693;

^{1, 2, 3} Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russian Federation

* Corresponding author (i.v.pech[at]mail.ru)

Abstract

The most common industrial method for producing sulphuric acid is the contact method, which is based on the oxidation of sulphur dioxide to sulphuric acid in the presence of a vanadium catalyst. To obtain maximum product yield with minimal catalyst degradation, it is important to control the initial composition of both the vanadium catalyst itself and its carrier, natural diatomite.

This paper describes a method for synthesising certified mixtures of substances for determining the elemental composition of diatomite samples and vanadium catalysts prepared on their basis, which are used in the production of sulphuric acid. The authors substantiated the selected controlled elements, determined the list of chemical reagents necessary for synthesis, described the method for preparing certified mixtures of substances, and presented a method for preparing synthesised samples for analysis by X-ray fluorescence analysis. An estimation of the content error for each element determined in the synthesised comparison samples was also carried out.

Keywords: vanadium catalysts, diatomite, catalysts for the contact method of sulphuric acid production, X-ray fluorescence analysis.

Введение

Практически любая отрасль промышленности не может обойтись без серной кислоты, особенно широкое применение серная кислота нашла в химической промышленности. Наибольшее распространение в промышленности получил контактный метод синтеза серной кислоты. Суть данного метода заключается в окислении сернистого ангидрида, получаемого при сжигании пирита и других сульфидных минералов, до серного кислородом воздуха в присутствии катализатора.

В настоящее время на современных предприятиях для ускорения реакции окисления применяют ванадиевые катализаторы, вытеснившие платину и оксиды железа [1], [2], [3]. Ванадиевые катализаторы представляют собой экструдированный материал в виде зерен, состоящий из кремнеоксидного носителя и нанесенных на него ванадиевых соединений, промотированных сульфатами щелочных металлов. В России выпускается три типа сернокислотных

катализаторов: сульфованадат-диатомитовая, сульфованадат-силикогелевая контактные массы и катализатор ИК 1-6 [1]. В данной работе рассматривается первый тип катализаторов.

Одной из основных причин дезактивации ванадиевых катализаторов является накопление «контактных ядов», к которым относят соединения активного компонента катализатора с примесями, в состав которых входят: Fe, Al, Ca, Cl и As [2]. Например, мышьяк и хлор при рабочей температуре контактного аппарата образуют соединения с ванадием, которые затем осаждаются на вышележащих слоях катализатора, образуя покрытия, препятствующие эффективному протеканию реакции окисления сернистого ангидрида.

Сульфат железа и кальция также могут механически покрывать поверхность катализатора и в результате этого оказывать вредное воздействие. Соединения алюминия и железа, входящие в состав диатомита, также оказывают влияние на каталитическую активность, вступая в химическое взаимодействие с активным компонентом катализатора и, таким образом, «обедняют» его.

Соответственно, перед введением диатомита в процесс производства катализаторов, а также при введении самих катализаторов в производство серной кислоты очень важно проводить контроль их химического состава.

Наиболее подходящим для данных целей может являться рентгенофлуоресцентный анализ (РФА), поскольку он позволяет достаточно просто и быстро проводить многоэлементный анализ твердых образцов без проведения сложной и длительной пробоподготовки [4], [5]. Это выгодно отличает данный метод анализа от других, где требуется трудоемкая процедура перевода анализируемого материала в раствор, например, атомно-эмиссионной и масс-спектрометрии [6], [7], [8]. Для проведения химического анализа требуются подходящие стандартные образцы, схожие по химическому и фазовому составу. Поэтому целью данной работы является разработка способа синтеза аттестованных смесей веществ и методики их пробоподготовки для проведения анализа образцов диатомита и ванадиевых катализаторов методом РФА.

Используемое оборудование и реагенты

Для измельчения и гомогенизации исходных реагентов и получаемых образцов сравнения использовалась шаровая планетарная мельница Pulverisette 6 компании Fritsch, укомплектованная размольным стаканом с мелющими шарами из карбида вольфрама. Также для предварительного грубого перемешивания порошкообразных проб использовали ротационный смеситель RM1L компании Elmi с держателем для пробирок. Пробоподготовку осуществляли методом прессования на подложке из борной кислоты с использованием автоматического гидравлического пресса VANEON 40t Automatic.

При синтезе образцов сравнения использовались только химически чистые реагенты, которые при необходимости предварительно измельчали, высушивали и прокаливали для удаления адсорбированной и химически связанной воды. При их выборе также руководствовались данными рентгенофазового анализа, полученными с использованием рентгеновского дифрактометра X'PERT PRO MPD с быстродействующим твердотельным детектором PIXCEL (PANalytical).

Оценку погрешности содержания определяемых элементов проводили путем анализа синтезированных образцов по оригинальной методике с использованием волнодисперсионного рентгеновского спектрометра ARL ADVANT'X 4200 компании Thermo Fisher Scientific (Швейцария).

Выбор ряда контролируемых элементов

В ванадиевых катализаторах и используемой при их производстве кремнеоксидной основе, в качестве которой в данной работе рассматривается диатомит, очень важно контролировать содержание не только активного вещества, то есть ванадия, серы и щелочных металлов (преимущественно, калия), но и вредных примесных компонентов, таких как Al, Fe, Ca, As и Cl. Также целесообразно контролировать и другие компоненты, содержащиеся в анализируемых образцах катализаторов и диатомита, поскольку для проведения химического анализа методом РФА необходимо учитывать содержания всех элементов в образце для учёта эффектов влияния матрицы на аналитический сигнал [5].

Для определения матричных компонентов был проведен рентгенофлуоресцентный анализ серии реальных образцов ванадиевых катализаторов и диатомита методом фундаментальных параметров с использованием программы «UniQuant», являющейся частью ПО спектрометра. По результатам анализа были определены следующие перечни определяемых компонентов: для ванадиевых катализаторов — Al, As, Ca, Cl, Cs, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, P, S, Si, Ti, V, Zn; для диатомита — Al, Ca, Cl, Cr, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, S, Si, Sr, Ti, V, Zn.

По результатам рентгенофазового анализа исследуемых образцов катализаторов и диатомита было установлено, что в их состав в основном входят оксиды и сульфаты. Таким образом, были подобраны реагенты, основную часть которых составили оксиды и сульфаты определяемых компонентов. Исключением стал фосфор, который вводили в виде дигидроортофосфата калия, и хлор — в виде хлорида калия. В качестве матрицы использовали оксид кремния. Пример дифрактограмм, полученных при анализе реальных образцов катализаторов и диатомита, представлены на рисунках 1 и 2.

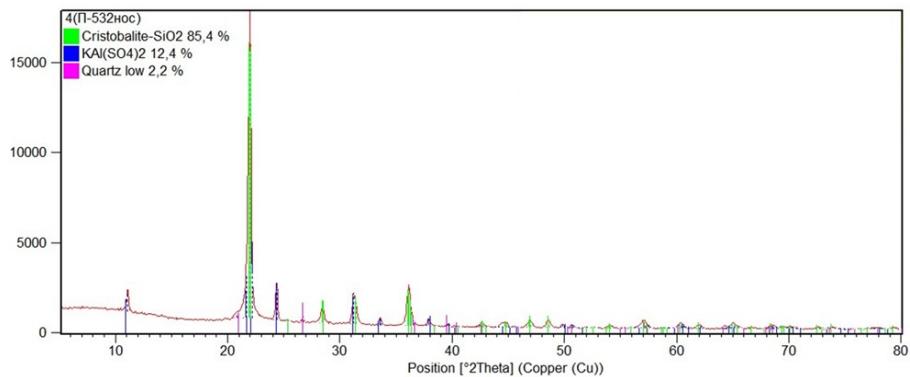


Рисунок 1 - Дифрактограмма образца диатомита
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.160s.24.1>

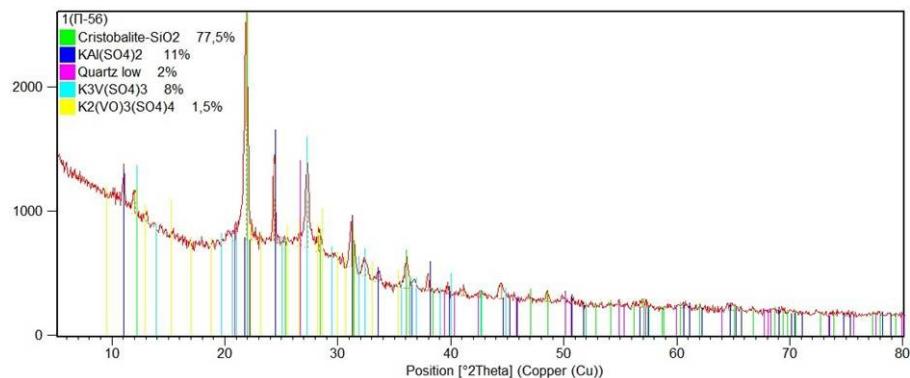


Рисунок 2 - Дифрактограмма образца ванадиевого катализатора
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.160s.24.2>

Синтез образцов сравнения

В связи с тем, что содержание некоторых определяемых компонентов в исследуемых образцах мало, прямое введение навесок индивидуальных веществ малой массы привело бы к высоким погрешностям от взвешивания. Поэтому предварительно для каждого объекта анализа было синтезировано шесть промежуточных смесей из индивидуальных веществ. Их состав подбирали в соответствии с массовой долей анализаторов в индивидуальных веществах и синтезируемым аттестованных смесях.

Смеси готовили следующим образом: отбирали заранее рассчитанные навески необходимых индивидуальных веществ и разбавителя (SiO₂) в полипропиленовые пробирки с винтовой крышкой объёмом 50 см³, затем проводили предварительное перемешивание смесей в течение 12 ч при скорости вращения 45 об./мин с периодическим вибрационным встряхиванием пробирок. Далее для достижения требуемой однородности смеси гомогенизировали в шаровой планетарной мельнице в течение 30 мин при скорости вращения 300 об./мин.

Конечные аттестованные смеси веществ для анализа катализаторов и диатомита готовились путём смешивания и гомогенизации определённых количеств полученных промежуточных смесей и разбавителя по описанному выше алгоритму, итоговая масса каждой смеси составляла 20 г. Диапазоны содержаний определяемых элементов для полученных образцов представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 - Диапазоны содержаний определяемых элементов в образцах ванадиевых катализаторов

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.160s.24.3>

Диапазон содержаний		Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca
Массова я доля, %	нижняя граница	0,2	0,01	0,01	18	0,001	7	0,001	5	0,01
	верхняя граница	3	1	1	34	0,1	14	0,02	12	1
Диапазон содержаний		Ti	V	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Cs
Массова	нижняя	0,001	1,8	0,001	0,2	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001

Диапазон содержаний		Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca
я доля, %	граница									
	верхняя граница	0,1	6	0,5	3	0,5	0,1	0,5	0,1	7

Таблица 2 - Диапазоны содержаний определяемых элементов в образцах диатомита

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.160s.24.4>

Диапазон содержаний		Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K
Массовая доля, %	нижняя граница	0,02	0,004	0,02	40	0,0005	0,008	0,004	0,004
	верхняя граница	3	0,7	3	45	0,06	0,04	0,7	0,7
Диапазон содержаний	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Zn	Sr	
Массовая доля, %	нижняя граница	0,004	0,004	0,004	0,0005	0,0005	0,02	0,0005	0,0005
	верхняя граница	0,7	0,7	0,15	0,06	0,06	3	0,06	0,06

Пробоподготовка образцов катализаторов и диатомита методом прессования

В качестве метода пробоподготовки был выбран метод прессования на подложке как наиболее простой и экспрессный, позволяющий проводить анализ образцов с приемлемой точностью [9]. Полученные по вышеописанной методике мелкодисперсные аттестованные смеси веществ для анализа ванадиевых катализаторов и диатомита прессовали в таблетки с помощью гидравлического пресса на заранее запрессованную подложку из борной кислоты при режиме прессования 10 т в течение 10 с. Представленный способ пробоподготовки также может быть успешно применён к реальным исследуемым образцам катализаторов и диатомита.

Расчет погрешности аттестованного значения содержания анализов для обоих типов синтезированных аттестованных смесей проводили согласно [10] путем анализа 18 таблеток, отвечающих среднему концентрационному диапазону для каждого определяемого элемента. Каждый образец измеряли три раза. Значение погрешности содержания анализов вычисляли с использованием формулы:

$$\Delta_A = \sqrt{\Delta_M^2 + \Delta_\Pi^2 + 4 \cdot \sigma_H^2} \quad (1)$$

где Δ_M — погрешность от исходных материалов [11];

Δ_Π — погрешность процедуры приготовления [11];

σ_H — характеристика однородности материала [12].

Результаты расчетов для обоих типов образцов представлены в таблицах 3 и 4.

Таблица 3 - Значения погрешности содержания анализов и её составляющих для аттестованных смесей ванадиевых катализаторов

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.160s.24.5>

Аналит	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca
Δ_M	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$2,3 \cdot 10^{-3}$	$7,9 \cdot 10^{-4}$	$5,1 \cdot 10^{-3}$	$3,1 \cdot 10^{-4}$	$1,10 \cdot 10^{-1}$	$3,4 \cdot 10^{-5}$	$9,8 \cdot 10^{-2}$	$3,2 \cdot 10^{-3}$
Δ_Π	$9,3 \cdot 10^{-4}$	$4,8 \cdot 10^{-4}$	$4,8 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-3}$	$8,1 \cdot 10^{-5}$	$2,2 \cdot 10^{-3}$	$6,2 \cdot 10^{-5}$	$6,5 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$
σ_H	$5,4 \cdot 10^{-3}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$1,24 \cdot 10^{-1}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$3,65 \cdot 10^{-2}$	$2,4 \cdot 10^{-4}$	$2,6 \cdot 10^{-2}$	$9,0 \cdot 10^{-4}$
Δ_A	$1,90 \cdot 10^{-2}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$2,49 \cdot 10^{-1}$	$4,4 \cdot 10^{-4}$	$1,32 \cdot 10^{-1}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$1,12 \cdot 10^{-1}$	$3,7 \cdot 10^{-3}$
$\delta_A, \%$	1,9	2,8	1,7	1,08	3,0	1,36	6,4	1,4	2,6
Аналит	Ti	V	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Cs
Δ_M	$2,4 \cdot 10^{-6}$	$7,2 \cdot 10^{-4}$	$8,7 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-2}$	$4,8 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$	$2,2 \cdot 10^{-4}$	$9,2 \cdot 10^{-5}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$
Δ_Π	$8,8 \cdot 10^{-5}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$9,6 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$9,2 \cdot 10^{-5}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$9,0 \cdot 10^{-5}$	$3,7 \cdot 10^{-3}$
σ_H	$2,2 \cdot 10^{-4}$	$1,16 \cdot 10^{-2}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$2,6 \cdot 10^{-4}$	$8,4 \cdot 10^{-4}$	$7,4 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$
Δ_A	$4,5 \cdot 10^{-4}$	$2,34 \cdot 10^{-2}$	$9,1 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-2}$	$5,6 \cdot 10^{-4}$	$5,2 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$5,5 \cdot 10^{-3}$

Аналит	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca
$\delta_A, \%$	3,1	0,6	2,5	2,0	1,4	3,6	4,7	1,4	1,9

Таблица 4 - Значения погрешности содержания анализаторов и её составляющих для аттестованных смесей диатомита

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.160s.24.6>

Аналит	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K
Δ_M	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$1,9 \cdot 10^{-3}$	$9,6 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$3,5 \cdot 10^{-4}$	$7,5 \cdot 10^{-3}$
Δ_P	$4,6 \cdot 10^{-4}$	$3,6 \cdot 10^{-4}$	$4,5 \cdot 10^{-4}$	$2,4 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$8,3 \cdot 10^{-5}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-4}$
σ_H	$1,11 \cdot 10^{-2}$	$2,1 \cdot 10^{-3}$	$6,5 \cdot 10^{-3}$	$3,4 \cdot 10^{-1}$	$8,4 \cdot 10^{-4}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$5,1 \cdot 10^{-3}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$
Δ_A	$2,23 \cdot 10^{-2}$	$4,4 \cdot 10^{-3}$	$1,32 \cdot 10^{-2}$	$6,9 \cdot 10^{-1}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$1,18 \cdot 10^{-2}$
$\delta_A, \%$	3,6	5,0	3,8	1,6	4,0	4,8	12	4,6
Аналит	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Zn	Sr
Δ_M	$1,9 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$	$7,4 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$6,3 \cdot 10^{-3}$	$4,4 \cdot 10^{-5}$	$7,6 \cdot 10^{-5}$
Δ_P	$3,7 \cdot 10^{-4}$	$3,6 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$4,0 \cdot 10^{-5}$	$2,7 \cdot 10^{-4}$	$4,6 \cdot 10^{-4}$	$4,3 \cdot 10^{-5}$	$3,7 \cdot 10^{-5}$
σ_H	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$4,0 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$2,7 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$3,1 \cdot 10^{-4}$
Δ_A	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$2,3 \cdot 10^{-3}$	$8,4 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$7,0 \cdot 10^{-3}$	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$6,2 \cdot 10^{-4}$
$\delta_A, \%$	3,4	2,7	1,4	3,4	2,6	2,0	3,1	8,0

Для большинства компонентов значения погрешностей содержания анализаторов не превышают 3–5 отн. %, что является приемлемым для дисперсных материалов.

Заключение

В данной работе была описана методика синтеза аттестованных смесей веществ для анализа образцов диатомита и производимых на их основе контактных ванадиевых катализаторов, и предложен способ подготовки данных образцов к анализу методом прессования на подложке из борной кислоты, который также может быть применён и для реальных проб катализаторов и диатомита. Было проведено обоснование химического состава и перечня используемых реагентов для каждого типа образцов на основе элементного и фазового составов реальных образцов ванадиевых катализаторов и диатомита. Проведена оценка погрешности содержания определяемых элементов для обоих типов синтезируемых образцов, полученные погрешности для большинства анализаторов не превышают 3–5 отн.%.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Ванаг С.В. Процессы окисления SO_2 в SO_3 с использованием стекловолокнистых Pt-содержащих катализаторов и их аппаратурное оформление dis... ...Candidate of Sciences: 05.17.08 / С.В. Ванаг. — Новосибирск. — 147 с.
2. Таланов В. Н. Взаимодействие ванадиевого катализатора с примесными компонентами контактного газа сернокислотного производства : специальность 05.17.01 «Технология неорганических веществ» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата химических наук / В. Н. Таланова ; Научно-исследовательский институт удобрений и инсектофунгицидов им. Я. В. Самойлова. — Москва, 1992. — 29 с.
3. Боресков Г.К. Катализ в производстве серной кислоты / Г.К. Боресков. — Москва: Государственное научно-техническое издательство химической литературы, 1954. — 348 с.
4. Лосев Н.Ф. Основы рентгеноспектрального флуоресцентного анализа / Н.Ф. Лосев, А.Н. Смагунова. — Москва: Химия, 1982. — 208 с.
5. Эрдхарт Х. Рентгенофлуоресцентный анализ. Применение в заводских лабораториях. / Х. Эрдхарт. // Сборник научных трудов; — Москва: Металлургия, 1985. — С. 256 .
6. Довлитова Л.С. Определение химического состава нанесенных оксидных ванадиевых катализаторов методом дифференцирующего растворения. / Л.С. Довлитова, А.А. Почтарь, Н.Н. Болдырева и др. // Журнал аналитической химии. — 2011. — 1. — С. 92–97.
7. Наекова С.К. Сравнительная характеристика различных образцов Мугалжарского диатомита. / С.К. Наекова, М.А. Сатканов, А.У. Исаева // Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева. — 2018. — 4. — С. 33–38.

8. Смирнов П.В. Результаты комплексных исследований вещественного состава диатомита Ирбитского месторождения. / П.В. Смирнов // Известия Томского политехнического университета. — 2016. — 6. — С. 93–104.
9. Афонин В.П. Рентгенофлуоресцентный силикатный анализ / В.П. Афонин, Т.Н. Гуничева, Л.Ф. Пискунова. — Новосибирск: Наука, 1984. — 227 с.
10. РМГ 60-2003. Смеси аттестованные. Общие требования к разработке. — Введ. 2004-07-01. — Москва: Стандартинформ, 2007. — 15 С.
11. МИ 1992-98. Метрологическая аттестация стандартных образцов состава веществ и материалов по процедуре приготовления. Основные положения. — Введ. 1999-07-01. — Екатеринбург: Уральский научно-исследовательский институт метрологии, 1998. — 11 С.
12. ГОСТ 8.531-2002. Стандартные образцы состава монолитных и дисперсных материалов. Способы оценивания однородности. — Введ. 2002-03-01. — Москва: Стандартинформ, 2008. — 15 С.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Vanag S.V. Processy' oksisleniya SO₂v SO₃s ispol'zovaniem steklovoloknist'yx Pt-soderzhashhiix katalizatorov i ix apparaturnoe oformlenie [SO₂ to SO₃ oxidation processes using fiberglass Pt-containing catalysts and their hardware design] dis.....of PhD in : 05.17.08 / C.B. Vanag. — Novosibirsk. — 147 p. [in Russian]
2. Talanov V. N. Vzaimodejstvie vanadievogo katalizatora s primesnymi komponentami kontaktnogo gaza sernokislotnogo proizvodstva [Interaction of vanadium catalyst with impurity components of contact gas of sulfuric acid production] : special'nost' 05.17.01 «Tekhnologiya neorganicheskikh veshchestv» : avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata himicheskikh nauk / V. N. Talanova ; Nauchno-issledovatel'skij institut udobrenij i insektofungicidov im. Ya. V. Samojlova. — Moscow, 1992. — 29 p. [in Russian]
3. Boreskov G.K. Kataliz v proizvodstve sernoj kisloty' [Catalysis in the production of sulfuric acid] / G.K. Boreskov. — Moscow: Gosudarstvennoe nauchno-texnicheskoe izdatel'stvo ximicheskoy literatury', 1954. — 348 p. [in Russian]
4. Losev N.F. Osnovy' rentgenospektral'nogo fluorescentnogo analiza [Fundamentals of X-ray spectral fluorescence analysis] / N.F. Losev, A.N. Smagunova. — Moscow: Ximiya, 1982. — 208 p. [in Russian]
5. E'rdxart X. Rentgenofluorescentny'j analiz. Primenenie v zavodskix laboratoriyx [X-ray fluorescence analysis. Application in factory laboratories]. / X. E'rdxart. // Collection of scientific papers; — Moscow: Metallurgiya, 1985. — P. 256 . [in Russian]
6. Dovlitova L.S. Opredelenie ximicheskogo sostava nanesenny'x oksidny'x vanadiev'yx katalizatorov metodom differenciruyushhego rastvorenija [Determination of the chemical composition of deposited vanadium oxide catalysts by differentiating dissolution]. / L.S. Dovlitova, A.A. Pochtar', N.N. Boldy'reva et al. // Journal of Analytical Chemistry. — 2011. — 1. — P. 92–97. [in Russian]
7. Naekova S.K. Sravnitel'naya xarakteristika razlichny'x obrazcov Mugalzharskogo diatomita [Comparative characteristics of various samples of Mugaljar diatomite]. / S.K. Naekova, M.A. Satkanov, A.U. Isaeva // Bulletin of the L.N. Gumilyov Eurasian National University. — 2018. — 4. — P. 33–38. [in Russian]
8. Smirnov P.V. Rezul'taty' kompleksny'x issledovanij veshhestvennogo sostava diatomita Irbitskogo mestorozhdeniya [Results of comprehensive studies of the material composition of diatomite from the Irbit deposit]. / P.V. Smirnov // Proceedings of Tomsk Polytechnic University. — 2016. — 6. — P. 93–104. [in Russian]
9. Afonin V.P. Rentgenofluorescentny'j silikatny'j analiz [X-ray fluorescence silicate analysis] / V.P. Afonin, T.N. Gunicheva, L.F. Piskunova. — Novosibirsk: Nauka, 1984. — 227 p. [in Russian]
10. RMG 60-2003. Smesi attestovanny'e. Obshchie trebovaniya k razrabotke [RMG 60-2003. The mixtures are certified. General requirements for development]. — Introduced 2004-07-01. — Moscow: Standartinform, 2007. — 15 P. [in Russian]
11. MI 1992-98. Metrologicheskaya attestaciya standartny'x obrazcov sostava veshhestv i materialov po procedure prigotovleniya. Osnovny'e polozheniya [MI 1992-98. Metrological certification of standard samples of the composition of substances and materials according to the preparation procedure. The main provisions]. — Introduced 1999-07-01. — Ekaterinburg: Ural'skij nauchno-issledovatel'skij institut metrologii, 1998. — 11 P. [in Russian]
12. GOST 8.531-2002. Standartny'e obrazcy' sostava monolitny'x i dispersny'x materialov. Sposoby' ocenivaniya odnorodnosti [GOST 8.531-2002. Standard samples of the composition of monolithic and dispersed materials. Methods for assessing uniformity]. — Introduced 2002-03-01. — Moscow: Standartinform, 2008. — 15 P. [in Russian]