



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

C01B 25/223 (2024.01); C01F 11/46 (2024.01); C22B 3/08 (2024.01); C22B 59/00 (2024.01)

(21)(22) Заявка: 2023131557, 01.12.2023

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
01.12.2023Дата регистрации:
12.03.2025

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 01.12.2023

(45) Опубликовано: 12.03.2025 Бюл. № 8

Адрес для переписки:

115477, Москва, Пролетарский пр-кт, 33, корп.
2, кв. 182, Вальков А.В.

(72) Автор(ы):

Вальков Александр Васильевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Вальков Александр Васильевич (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2008254 C1, 28.02.1994. RU 2225892 C1, 20.03.2004. RU 2525877 C2, 20.08.2014. RU 2492255 C1, 10.09.2013. US 2023373789 A1, 23.11.2023. CN 108112248 A, 01.06.2018. КОЧЕТКОВ А.В. и др., Условия получения фосфогипса как отхода - побочного продукта производства азотно-фосфорных удобрений, Транспортные сооружения, 2019, т. 6, сс. 1-10.

(54) СПОСОБ ПЕРЕРАБОТКИ АПАТИТА ПО СЕРНОКИСЛОТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

(57) Реферат:

Изобретение относится к технологии получения фосфорсодержащих удобрений. Предложен способ переработки апатита вскрытием серной кислотой с получением фосфогипса, включающий многоступенчатую промывку фосфогипса водой. При этом фосфогипс промывают раствором серной кислоты с концентрацией 20-40 г/дм³ при температуре 70-90°C и при продувке воздухом или острым паром. Из полученного фосфатно-сернокислого раствора извлекают РЗЭ. Фильтрат

возвращают в голову вскрытия апатита серной кислотой. На следующей стадии фосфогипс промывают водой для удаления серной кислоты. На последней стадии обрабатывают в противотоке раствором известкового молока, содержащим эквивалентное количество оксида кальция по отношению к количеству оставшейся серной кислоты. Изобретение позволяет сократить затраты на очистку фосфогипса и извлечение РЗЭ, упростить процесс переработки апатита и увеличить производительность процесса. 2 з.п. ф-лы, 3 ил., 6 табл., 7 пр.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
C01B 25/223 (2006.01)
C01F 11/46 (2006.01)
C22B 3/08 (2006.01)
C22B 59/00 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

C01B 25/223 (2024.01); C01F 11/46 (2024.01); C22B 3/08 (2024.01); C22B 59/00 (2024.01)

(21)(22) Application: **2023131557, 01.12.2023**

(24) Effective date for property rights:
01.12.2023

Registration date:
12.03.2025

Priority:

(22) Date of filing: **01.12.2023**

(45) Date of publication: **12.03.2025** Bull. № 8

Mail address:

115477, Moskva, Proletarskij pr-kt, 33, korp. 2, kv. 182, Valkov A.V.

(72) Inventor(s):

Valkov Aleksandr Vasilevich (RU)

(73) Proprietor(s):

Valkov Aleksandr Vasilevich (RU)

(54) **METHOD OF PROCESSING APATITE USING SULFURIC ACID TECHNOLOGY**

(57) Abstract:

FIELD: chemistry.

SUBSTANCE: invention relates to the technology of producing phosphorus-containing fertilizers. Disclosed is a method of processing apatite by opening with sulfuric acid to obtain phosphogypsum, which involves multistage washing of phosphogypsum with water. Phosphogypsum is washed with a solution of sulfuric acid with concentration of 20–40 g/dm³ at temperature of 70–90 °C and during blowing with air or live steam. Rare-earth elements are extracted from the obtained phosphate-sulfuric acid solution. Filtrate

is returned to the head of apatite opening with sulfuric acid. At the next stage, phosphogypsum is washed with water to remove sulfuric acid. At the last stage, lime milk solution containing an equivalent amount of calcium oxide in relation to the amount of remaining sulfuric acid is treated in a countercurrent.

EFFECT: invention reduces costs for purification of phosphogypsum and extraction of rare-earth elements, simplifies the process of processing apatite and increases efficiency of the process.

3 cl, 3 dwg, 6 tbl, 7 ex

RU 2 836 282 C1

RU 2 836 282 C1

Предлагаемое техническое решение относится к технологии фосфорсодержащих удобрений, конкретнее к технологии переработки апатита. На большинстве предприятий РФ апатит перерабатывают по сернокислотной технологии. При этом образуется побочный продукт производства фосфорной кислоты - фосфогипс, ответственный за создание экологического неблагополучия в прилегающих территориях вследствие воздушного переноса фтора в виде фторида кальция и фтористоводородной кислоты. Фосфогипс содержит также примеси тяжелых металлов и торий. Все предлагаемые методы основаны на переработке, очистке фосфогипса как продукта основной технологической цепочки и выводимого с территории завода минеральных удобрений. Эти методы предполагают строительство нового завода, который должен перерабатывать текущий или «лежалой» фосфогипс. Большинство известных из литературы технических решений по переработке фосфогипса можно разбить на несколько направлений. Одно из направлений - полное разрушение кристаллической решетки фосфогипса за счет термического воздействия и химического воздействия солями угольной кислоты с получением карбоната кальция, сульфата натрия и концентрата редкоземельных элементов [Колокольников В.А. Титов В.М. Шатов А.А. Способ комплексной переработки фосфогипса. Патент РФ. 2 258 036. От 09.06.2004 Олейник И.Л, Жадовский И.Т, Герасев С.А, Литвинова Т.Е. Способ комплексной переработки фосфогипса. Патент РФ. 2 763 074. От 16.06.2021]. Недостаток этих решений заключается в многоступенчатости, повышенных затратах и малой ликвидности получаемых продуктов. Большинство методов очистки фосфогипса основано на обработке его раствором серной кислоты с получением маточного раствора, содержащего примеси фторид- и фосфат- ионов, редкоземельных элементов и тория. Способы переработки такого раствора существенно различаются в разных патентах. В патенте [Дмитриев А.О. Яковлева Е.Ю. Шемякин В.С. Мартынов А.И. Способ извлечения редкоземельных элементов из фосфогипса. Патент РФ. 2 109 686. От 01.02.1996] в полученный раствор предлагается ввозить фтор-ион добавлением фтористоводородной кислоты до концентрации 2-5 г/дм³ HF при 30-85°C с выводом смеси фторидов РЗЭ. Недостаток предложения заключается в том, что фторид-ион необходимо удалять из гипса, а не вводить его в систему. Кроме того, осложняется последующая переработка фторидов РЗЭ в связи с трудностью перевода в раствор РЗЭ. В нескольких патентах предлагается пропускать раствор серной кислоты через слой фосфогипса с последующим извлечением РЗЭ. Но в этом случае фосфогипс плохо очищается или совсем не очищается от примесей фтора, фосфора, тория. В патенте [Локшин Э.П, Тареева О.А, Калинин В.Т. Способ переработки фосфогипса. 2487083. От 16.04.2012] изложен метод, основанный на пропускании раствора серной кислоты через слой фосфогипса при Ж:Т=1,5-2,0 с извлечением РЗЭ и получением двух порций. Концентрация серной кислоты в растворе 3-6 мас. %. Первую порцию нейтрализуют до pH раствора, равного 6-8, из второй порции раствора извлекают РЗЭ сорбцией на катионите. Недостаток метода-применение сорбционной технологии, с невысокой емкостью сорбента, длительностью процесса, периодичностью операций и, в целом, экономически затратной технологией. Во многих патентах предлагается извлекать редкоземельные элементы из растворов выщелачивания сорбцией [Локшин Э.П. Тареева О.А, Ким В., Ефимов Ю.С, Костинцев А.М. Способ переработки фосфогипса. 2551292. От 03.03.2014]. Однако в технологии РЗЭ уже давно с сорбционные процессы экономически невыгодны даже для разделения дорогих и иттриевых элементов, а извлечение РЗЭ сорбцией из разбавленных растворов (1-3 г/дм³) заведомо убыточно. Не выдерживает критики и применение 20-30% растворов серной кислоты для обработки

фосфогипса и кристаллизация сульфатов РЗЭ [Локшин Э.П., Вершков А.В., Вершкова Ю.А., Маслобоев В.А. Способ извлечения лантаноидов из фосфогипса. Патент РФ. 2167105. От 05.01.2000. Локшин Э.П., Гришин Н.Н., Сергиенко В.С., Тареева О.А., Калинин В.Т. Способ переработки фосфогипса, содержащего соединения фосфора и лантаноиды. Патент РФ. 2337879. От 06.06.2007]. Как утилизировать такие концентрированные растворы не ясно. Процесс кристаллизации относится к наиболее затратным, трудоемким и трудно автоматизированным процессам. Наименее затратным представляется способ, изложенный в патенте [Локшин Э.П., Тареева О.А., Калинин В.Т. Способ переработки фосфогипса для производства концентрата редкоземельных элементов и гипса. Патент РФ. 2458999. От 28.04.2011]. Переработка фосфогипса заключается в обработке лежалого или текущего фосфогипса раствором серной кислоты концентрацией 1-5 масс. % с последующим извлечением РЗЭ сорбцией сульфокатионитом с десорбцией РЗЭ раствором сульфата аммония. Недостаток этого технического решения заключается в необходимости строительства нового промышленного объекта с объемом переработки, превышающей в 1,5-2 раза объем переработки апатита материнским предприятием, т.к. на 1 т апатита образуется 1,6 т фосфогипса. Кроме того, использование сорбционного процесса для извлечения РЗЭ из разбавленных растворов экономически не выгодно. Например, при переработке 1 мл.т фосфогипса будет образовываться 140-150 м³ в час растворов, содержащих 1-2 г/дм³ РЗЭ. Для переработки такого потока растворов, учитывая медленную кинетику и необходимость нескольких операций: собственно сорбция, промывка смолы, десорбция РЗЭ, промывка смолы и образования большого количества промежуточных сбросных растворов, потребуется громоздкое оборудование, требующее финансовых вложений, таких или больше, чем строительство нового предприятия по переработке апатита. Выделение РЗЭ по рассматриваемой технологии экономически не выгодно. Наиболее близким к предлагаемому автором решению относится техническое решение, существующее на отечественных предприятиях. После вскрытия серной кислотой образовавшаяся пульпа передается на промывку водой на карусельный или ленточный фильтр. При такой водной промывке практически не происходит очистки фосфогипса от фтор-ионов, примесей тория и РЗЭ. С целью уменьшения издержек и создания экономически выгодного процесса автором предлагается следующее техническое решение. Предлагаемое техническое решение основывается на попытке предложить такой технологический процесс, который характеризовался бы минимальными затратами и позволил бы получать экологически чистый продукт, то есть, очищенный фосфогипс и, по возможности, выделить ценные компоненты, например, РЗ концентрат. Авторами предлагается решение, основанное на использовании существующих технологических процессов, которые имеются в технологической цепочке получения удобрений. На существующих предприятиях пульпу от вскрытия апатита серной кислотой и содержащей фосфогипс и фосфорную кислоту передают на операцию промывки водой для удаления фосфорной кислоты. Промывку осуществляют противотоком на 4-6 ступенях карусельного фильтра [Кочетков А.В., Щеголева Н.В., Коротковский С.А., Талалай В.В., Васильев Ю.Э., Шашков И.Г. Условия получения фосфогипса как отхода - побочного продукта производства азотно-фосфорных удобрений // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2019 № 2, стр. 1-10. <https://t-s.today/PDF/01SATS219.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус, англ. DOI: 10.15862/01SATS219]. Промытый фосфогипс удаляют с предприятия и складировать. Все имеющиеся в литературе технические решения относятся к переработке такого фосфогипса. Относительно небольшие изменения дают возможность упростить решение основной задачи и получить

с одной стороны очищенной фосфогипс, с другой стороны выделить те же РЗЭ и даже
увеличить производительность процесса в целом. Поставленная цель достигается тем,
что в способе переработки апатита вскрытием серной кислотой, включающем

5 промывку фосфогипса предлагается использовать раствор, содержащий 20-40 г/дм³
серной кислоты при температуре 70-90°С с барботажем воздухом или острым паром.
Промывку осуществляют на 3-5 ступенях в режиме противотока при соотношении Т:
Ж=1:1. В процессе промывки фосфогипс очищается от примесей фтора, фосфора РЗЭ
10 и тория, но содержит захваченную серную кислоту. Из полученного фосфатно-
сернокислого раствора извлекают РЗЭ, а фильтрат направляют в голову вскрытия
апатита серной кислотой. Для извлечения РЗЭ из фосфатно-сернокислого раствора
последний обрабатывают эквивалентным количеством апатита для связывания серной
кислоты и добавляют оксид кальция до рН 6-7 с образованием осадка сульфата кальция
15 и фосфатов РЗЭ, железа, алюминия и тория, который отделяют фильтрацией и
направляют на извлечение редкоземельных элементов.

На следующих 2-4 ступенях фосфогипс промывают водой для удаления серной
кислоты при соотношении Т:Ж=1:1 и температуре 70-90°С, полученный водный раствор
укрепляют по серной кислоте до 20-40 г/дм³ и этим раствором обрабатывают фосфогипс
20 при нагревании и барботаже. После промывки фосфогипса (первая стадия) из
полученного раствора добавлением апатита нейтрализуют серную кислоту, введением
оксида кальция выделяют фильтрацией концентрат РЗЭ, а полученный фосфор-
содержащий раствор добавляют в начала процесса переработки апатита. На последней
стадии после удаления серной кислоты водой, остаточные количества серной кислоты
25 нейтрализуют в стехиометрическом соотношении, обрабатывая фосфогипс раствором
известкового молока, содержащим эквивалентное количество оксида кальция по
соотношению к количеству оставшейся серной кислоты. На практике процесс поводят
в реакторе, поддерживая рН=6-7 при соотношении фосфогипс: раствор известкового
молока 1:1. После фильтрации водный раствор корректируют, при необходимости, и
30 направляют на промывку фосфогипса от серной кислоты.

Пример 1

Для экспериментов использовали фосфогипс производства предприятия
«Воскресенские минеральные удобрения». Фосфогипс обрабатывали раствором серной
кислоты различной концентрации при температуре 75°С в течение 1 часа. Результаты
35 представлены в табл. 1. Содержание редкоземельных элементов в фосфогипсе 0,4% масс.
Как видно из полученных результатов, при увеличении концентрации серной кислоты
возрастает степень извлечения редкоземельных элементов из фосфогипса.
Рекомендованная концентрация серной кислоты в промывном объясняется тем, что
при уменьшении концентрации менее 20 г/дм³ уменьшается степень извлечения, а
40 повышение концентрации более 40 г/дм³ приводит к чрезмерному образованию
вторичного сульфата кальция, что нежелательно, в целом, для технологического
процесса.

45

Таблица 1

Влияние концентрации серной кислоты на извлечение РЗЭ

№пп	Концентрация H ₂ SO ₄ г/дм ³	Соотношение Т:Ж	Содержание РЗЭ в жидкой фазе	Степень извлечения РЗЭ, %
1	10	1:1	1,10	27,5
2	20	1:1	1,23	30,7
3	30	1:1	1,42	35,5
4	40	1:1	1,54	38,5
5	50	1:1	1,40	35,0

Пример 2

Фосфогипс обрабатывали в течение одного часа раствором серной кислоты концентрацией 20 г/дм³ при различной температуре и барботажем с продувкой воздухом. Результаты представлены в табл. 2. Как видно из результатов табл. 2, при повышении температуры увеличивается извлечение фтора из осадка фосфогипса в водный раствор и в газовую фазу. При обработке с повышенной температурой часть фтора удаляется в газовую и жидкую фазу в форме HF или H₂SiF₆ с гидролизом и образованием солей натрия, например, Na₂SiF₆.

Таблица 2

Влияние температуры на очистку фосфогипса от фтора (содержание фтора в фосфогипсе 0,31% масс)

№пп	Температура, °С	Соотношение Т:Ж	Содержание F в очищенном ФГ, % масс	Степень извлечения F, %
1	40	1:1	0,20	35,5
2	62	1:1	0,18	41,9
3	75	1:1	0,15	51,6
4	81	1:1	< 0,1	>67
5	85	1:1	< 0,1	>67
6	90	1:1	< 0,1	>67

Повышение температуры более 90°С не приводит к существенному увеличению извлечения фторид-иона. Кроме того, повышение температуры более 90°С нежелательно из экономических соображений.

Пример 3

Так как на первую стадию обработки подается фосфогипс со значительным количеством водного раствора, содержащего фосфорную кислоту, возникает проблема, связанная с возможностью осаждения РЗЭ и выводом их вместе с фосфогипсом.

Фосфогипс обрабатывали раствором серной кислоты концентрации 20 г/дм³. Кроме того, в раствор вводили фосфорную кислоту в различной концентрации. Температура обработки 80°С. Результаты представлены на табл.3. Как видно из результатов табл.

3, осадки РЗЭ не образуются.

Таблица 3

Влияние состава выщелачивающего раствора на образование осадков фосфатов РЗЭ

№пп	Концентрация	Концентрация	Содержание H_3PO_4	Примечание
	$La_2(SO_4)_3$ г/дм ³	H_2SO_4 , г/дм ³	г/дм ³	
1	2,0	20	0	Осадки не обнаружены
2	2,0	20	86	Осадки не обнаружены
3	2,0	20	172	Осадки не обнаружены
4	2,0	20	258	Осадки не обнаружены
5	2,0	20	344	Осадки не обнаружены

Пример 4

После обработки фосфогипса сернокислым раствором в реальных условиях, приближенных к промышленным условиям, получается раствор, содержащий РЗЭ, примеси Fe^{+3} , Al^3 , Th^{+4} и серной кислоты до 20-40 г/дм³. В полученном растворе нейтрализовали серную кислоту введением апатита. Как видно из полученных результатов (табл. 4), при введении апатита серная кислота нейтрализуется вплоть до концентрации 0,03 моль/дм³. Далее возможны два варианта. По первому варианту в пульпу вводят оксид кальция для осаждения РЗЭ до рН=6-7 и отфильтровывают.

Таблица 4

Влияние количества добавленного апатита на нейтрализацию серной кислоты при нагревании до 75 °С.

№пп	Объем раствора, мл.	Масса введенного апатита, г	Содержание H_2SO_4 в фильтрате, моль/дм ³
1	50	0,8	0,15
2	50	1,7	0,10
3	50	2,5	0,04
4	50	3,5	<0,03
5	50	4,0	<0,03

Получают осадок, содержащий сульфат кальция от нейтрализации серной кислоты, сульфат кальция от осаждения РЗЭ и осадки фосфатов РЗЭ, железа, алюминия и тория. Полученный сульфатный кек, содержащий 5-6% РЗЭ, направляют на переработку с извлечением РЗЭ известными методами, а фильтрат, содержащий фосфорную кислоту, направляют в основное производство. Во втором варианте отделяют осадок сульфата

кальция после введения апатита фильтрацией и из фильтрата выделяют осаждением оксидом кальция фосфаты РЗЭ и примесей. Полученный осадок содержит 10-20% РЗЭ и перерабатывается известными методами, а фильтрат направляют в основное производство.

5 **Пример 5**

Моделировали процесс промывки фосфогипса водой на реальном производстве. Фосфогипс отделяли от раствора фосфорной кислоты и полученный фосфогипс, содержащий значительное количество фосфорной кислоты в жидкой фазе, обрабатывали несколько раз чистым раствором серной кислоты с концентрацией 21 г/дм³ при 10 температуре 81°C и при соотношении Т:Ж=1:1. Результаты, представленные в табл. 5, показывают, что при промывке раствором серной кислоты из фазы фосфогипса удаляется фосфорная кислота, причем для полного удаления достаточно 3-4 ступени.

Таблица 5

15

Результаты последовательной промывки фосфогипса, содержащего фосфорную кислоту, раствором серной кислоты.

20

№пп	Номер промывки	Содержание в жидкой фазе. г/дм ³	
		H ₂ SO ₄	H ₃ PO ₄
1	1	20	142
2	2	20	47
3	3	20	18
4	4	20	8
25	5	20	<4

Пример 6

Моделировали процесс промывки фосфогипса водой для удаления остаточной серной кислоты. Фосфогипс с захваченной серной кислотой промывали водой последовательной 30 обработкой одной фракции фосфогипса водой при соотношении Т:Ж=1:1. Результаты представлены на фиг. 1. Видно, что достаточно 3-4- ступени для удаления серной кислоты.

Рекомендованное соотношение фосфогипса и промывного раствора, равное 1:1, объясняется тем, что такое соотношение выдерживается на реальном промышленном 35 предприятии переработки апатита, что дает возможность использовать имеющееся оборудование и сохранить существующий баланс по воде. Пример 7.

Моделирование очистки текущего фосфогипса раствором серной кислоты

40

45

Таблица 6.

Результаты модельного опыта по замене промывки водой фосфогипса
 обработкой раствором серной кислоты при нагревании и барботаже
 воздухом.

№пп	Содержание, г/л в растворе	Номер ступени			
		1	2	3	4
1	H ₃ PO ₄	125	44	19	4
2	H ₂ SO ₄	18	18	19	21
3	F %масс в фосфогипсе	0,32	0,25	0,2	<0,1
4	РЗЭ, % масс. в фосфогипсе	0,41	0,37	0,25	0,19

Фосфогипс вводили в 1 ступень, раствор кислоты в 4-ю. Содержание РЗЭ в фосфогипсе 0,4%масс. Противоточный процесс проводили на четырех ступенях (в четырех стаканах), в первую ступень (стакан) ввозили фосфогипс с таким количеством захваченной фосфорной кислоты, которое реально существует на действующем производстве. Фосфогипс и водные растворы контактировали при перемешивании в течение 20 минут при нагревании до 75-80°С и барботировали воздух. После такой обработки пульпу фильтровали на водоструйном насосе под вакуумом и фильтрат переносили из четвертой ступени в третью, затем во вторую, из второй - в первую, а фосфогипс, наоборот, из первой во вторую, затем в третью и четвертую. Таким образом, водным раствором, содержащем практически одно и то же введенное количество серной кислоты, фосфогипс обрабатывали в противотоке. Концентрация фосфорной кислоты уменьшалась от первой ступени до четвертой. Процесс проводили в обычных стеклянных стаканах. Водную фазу и фосфогипс анализировали на содержание серной и фосфорной кислот, редкоземельных элементов и фтора. Результаты представлены в табл. 6. Видно, что происходит не только смыв фосфорной кислоты из фосфогипса, но также и очистка от фтора и от части редкоземельных элементов. Раствор от промывки, содержащий 1,6 г/дм³ РЗЭ, обрабатывается апатитом для нейтрализации серной кислоты и добавлением оксида кальция или гидроксида аммония осаждаются РЗЭ. После отделения осадка, фильтрат направляют на операцию вскрытия апатита завода-производителя удобрений или ту часть установки по вскрытию апатита, в которую в настоящее время поступает водный раствор от промывки фосфогипса водой. Соотношение фаз поддерживали такой же, как и в действующем производстве, т.е. фосфогипс: промывной раствор=1:1. Предлагаемый барботаж воздухом или горячим паром позволяет увеличить извлечение фтора в атмосферу, откуда он удаляется на фильтрах для очистки от фтора. На фиг. 2 и фиг. 3 приведена принципиальная технологическая схема и последовательность операций при очистке фосфогипса. Предлагаемое техническое решение позволяет существенно сократить затраты на очистку текущего фосфогипса и извлечение РЗЭ. Возможен также вариант переработки «лежалого фосфогипса» с передачей фосфат-содержащего раствора на основное предприятие и строительство установки по очистке «лежалого» фосфогипса.

(57) Формула изобретения

1. Способ переработки апатита вскрытием серной кислотой, включающий многоступенчатую промывку фосфогипса водой, отличающийся тем, что с целью
5 повышения качества фосфогипса его промывают раствором серной кислоты с концентрацией 20-40 г/дм³ при температуре 70-90°С при продувке воздухом или острым паром, из полученного фосфатно-сернокислого раствора извлекают РЗЭ, а фильтрат возвращают в голову вскрытия апатита серной кислотой, на следующей стадии фосфогипс промывают водой для удаления серной кислоты, а на последней стадии
10 обрабатывают в противотоке раствором известкового молока, содержащим эквивалентное количество оксида кальция по отношению к количеству оставшейся серной кислоты.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что для извлечения РЗЭ из фосфатно-сернокислого раствора последний обрабатывают эквивалентным количеством апатита
15 для связывания серной кислоты и добавляют оксид кальция до рН 6-7 с образованием осадка сульфата кальция и фосфатов РЗЭ, железа, алюминия и тория, который отделяют фильтрацией и направляют на извлечение редкоземельных элементов.

3. Способ по п. 1, отличающийся тем, что раствор от промывки фосфогипса водой
20 укрепляют по серной кислоте до 20-40 г/дм³ и этим раствором обрабатывают фосфогипс при нагревании и барботаже.

25

30

35

40

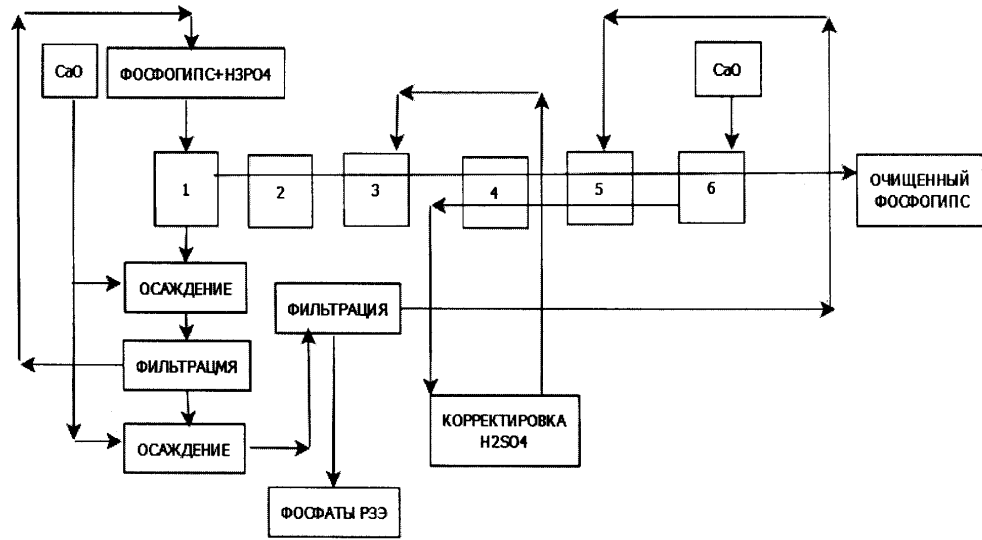
45

1

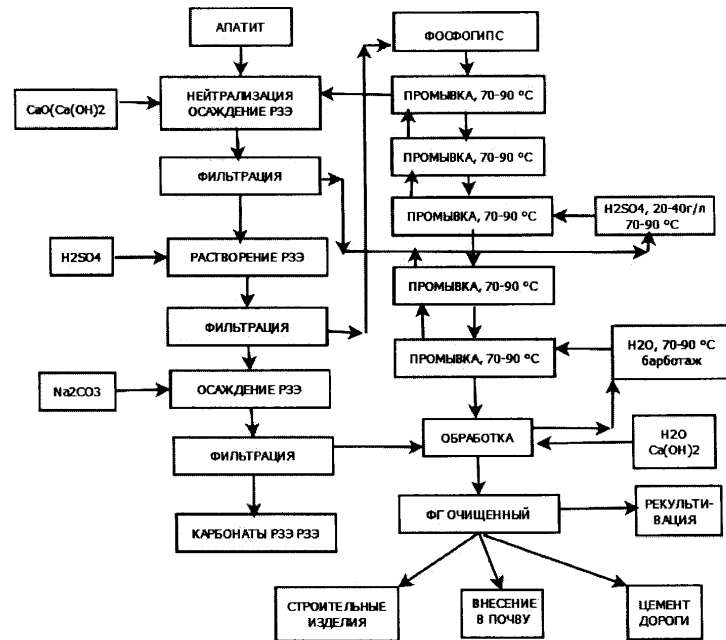


Фиг.1

2



Фиг.2



Фиг.3