

**АНАЛИЗ СПОСОБОВ УТИЛИЗАЦИИ ОТРАБОТАННЫХ КИСЛОТ
ПРОИЗВОДСТВА НИТРАТОВ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ**

**ANALYZING THE METHODS OF DISPOSING SPENT ACIDS OBTAINED IN PRO-
DUCING CELLULOSE NITRATES**

*Р.Х. ФАЗУЛЛИН, Р.А. ХАЛИТОВ, Р.Х. ХУЗИАХМЕТОВ, А.А. ФАЗУЛЛИНА, Р.Г. САФИИ
R.KH. FAZULLIN, R.A. KHALITOV, R.KH. KHUZIACHMETOV, A.A. FAZULLINA, R.G. SAFIN*

(Казанский национальный исследовательский технологический университет)

(Kazan National Research Technological University)

E-mail: rinatu@inbox.ru; halitovra@mail.ru; gafiat2013@mail.ru; rialai@mail.ru; safin@kstu.ru

Проведен анализ составов отработанных кислот производства нитратов целлюлозы на основе треугольных диаграмм, описывающих зависимость равновесной упругости паров азотной кислоты от состава кислот при температуре их кипения. Получена линия эффективной денитрации, позволяющая определить возможность получения 98% HNO_3 из отработанной кислотной смеси без дополнительных затрат. Определены два наиболее эффективных способа утилизации отработанных кислот различного состава.

Проанализированы возможные методы получения сульфонитрата аммония нейтрализацией кислотной смеси газообразным аммиаком или 25% аммиачной водой с использованием и без использования тепла в виде пара, выделившегося в процессе нейтрализации в дальнейшем технологическом процессе. Проведенные исследования минеральных удобрений на содержание металлов показали, что они не содержат элементов первой группы токсичности и могут быть использованы в сельском хозяйстве.

Compositions of spent acids used in producing cellulose nitrates were analyzed based on triangular diagrams defining the dependence of the equilibrium nitric acid vapor pressure on the compositions of acids at their boiling points. A line of efficient denitration was obtained, which allows evaluating the possibility of obtaining 98-% HNO_3 from spent mixed acids at no extra costs. Two most efficient techniques were identified for recycling spent acids having different compositions.

We analyzed potential methods of obtaining ammonium sulfate nitrate by neutralizing the mixed acid with gas ammonia or with the 25-% ammonia liquor with and without using heat as vapor emitted in neutralizing within the further workflow. Testing of mineral fertilizers for metal contents has shown that they contain no elements of the first toxicity class and can be used in agriculture.

Ключевые слова: отработанные кислотные смеси, утилизация, отход производства нитроцеллюлозы, серная кислота, азотная кислота, треугольная диаграмма, сульфат алюминия, аммиачная селитра, сульфонитрат аммония.

Keywords: spent mixed acids, disposal, wastes from producing cellulose nitrates, sulfuric acid, nitric acid, triangle diagram, aluminum sulfate, ammonium nitrate, ammonium sulfate nitrate.

Проблеме интенсификации и снижения газовых выбросов процесса регенерации отработанных кислот производства высокоэнергетических веществ, в частности нитратов целлюлозы, уделялось достаточно много внимания [1...3]. Однако модернизация регенерации отработанных кислот не приводила к снижению материало- и энергоемкости процесса. Обеспечение газовых выбросов в пределах допускаемых значений приводит к дополнительным затратам на усовершенствование системы газоочистки. В настоящее время снижение себестоимости продукции можно достичь диверсификацией производства и выпуском востребованной продукции из отходов химических предприятий. [4].

По этой причине в последнее время интенсифицировались исследования в области утилизации отработанных кислотных смесей (ОКС), образующихся на предприятиях производства нитроцеллюлозы (НЦ) в полезные продукты. Одно из направлений исследования – их переработка в удобрения [5], [6].

На качество получаемой НЦ влияют свойства целлюлозы. Хлопок поступает в необработанном виде, требующем дополнительной очистки на месте [7], при этом качество сырья заметно снизилось в последние десятилетия. [8] Также на качество НЦ влияет состав рабочей кислотной смеси, состоящий из отработанных кислотных смесей с добавлением концентрированных серной и азотной кислот. Невостребованная для составления рабочей кислотной смеси часть ОКС подвергается регенерации. В отработанных кислотах производства пироксилина №1 (П1) и №2 (П2), а также коллоксилина (К), состав и количество которых представлено в табл. 1, содержатся растворенные оксиды азота (до 3 масс. %) и остатки нитроцеллюлозы (до 0,5 масс. %) на 1 т НЦ.

Т а б л и ц а 1

НЦ	Состав ОКС, % масс.			ОКС на 1 т НЦ
	H ₂ SO ₄	HNO ₃	H ₂ O	
П1	71,25	19,8	8,95	1,0...1,2
П2	66,23	15,93	17,77	1,0...1,2
К	39,5	18,5	42	3,0...3,5

После стадии нитрования отработанные кислоты смешиваются с кислотами, получаемыми на других этапах производства НЦ (отжима, промывки), образуя состав масс. %: HNO₃ – 10÷18, H₂SO₄ – 23÷39, НЦ – не более 0,5%, H₂O – остальное.

Технология и оборудование регенерации ОКС отличаются высокой материало- и энергоемкостью. В процессе регенерации образуются оксиды азота NO_x и серы SO₂, на системы газоочистки которых приходится более половины оборудования по массе и объему [9]. На стадии денитрации ОКС усредненного состава для получения 1 т 98% HNO₃ необходимо дополнительно вводить в колонну денитрации от 5 т и более 92% H₂SO₄. При этом большое количество H₂SO₄ находится в замкнутом кислотообороте.

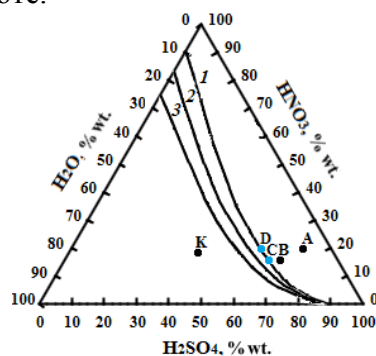


Рис. 1

Большое содержание азотной и серной кислот в отработанной кислотной смеси, как видно из рис. 1 (зависимость равновесной концентрации паров азотной кислоты от концентрации отработанной кислотной смеси при температурах кипения смеси: 1 – содержание HNO₃ 98%, 2 – содержание HNO₃ 90%, 3 – содержание HNO₃ 80%), ОКС П1 (точка А) и П2 (точка В) позволяет получить продукционную 98% HNO₃ непосредственной перегонкой смеси. Однако для нагрева смеси в колонну денитрации необходимо подавать острый водяной пар, что приводит к снижению концентрации H₂SO₄ в кислотной смеси. При этом точка А может сместиться до концентрации H₂SO₄ менее 57% (точка С) при денитрации ОКС П1, а точка В может сместиться ниже 63% (точка D) при денитрации ОКС П2. В

этом случае для поддержания концентрации H_2SO_4 выше, чем в точках С и D, необходимо дополнительно вводить в колонну 92%-ную серную кислоту.

Для расчета регенерации ОКС различного состава нами разработан программный модуль, который позволяет определить расходные параметры ОКС и энергоресурсов процесса регенерации.

С помощью программного модуля выявлены концентрации ОКС, для которых нет необходимости вводить в колонну денитрации 92% H_2SO_4 . Также известно, что азотную кислоту концентрацией 98% и выше без разбавления серной кислотой можно получить только при условии содержания ее в парах более 98 %.

Совмещение результатов расчета процесса денитрации программным модулем с данными равновесной концентрации паров HNO_3 над смесью кислот позволило получить линию эффективной денитрации, представленную на рис. 2. В области, находящейся правее этой линии, возможно получение 98% HNO_3 и 68% H_2SO_4 , а в области, находящейся левее этой линии, это возможно только с дополнительным введением 92% H_2SO_4 .

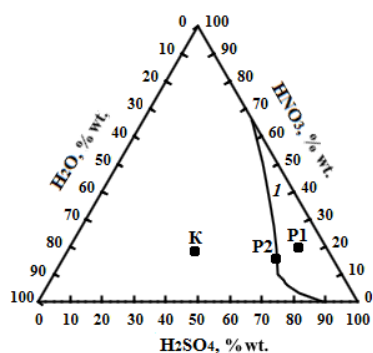


Рис.2

Выполненный анализ процесса регенерации ОКС показал целесообразность сбора ОКС П1 и П2 в отдельную емкость с последующей ее денитрацией с получением 98% HNO_3 . Регенерация ОКС, полученных при кислотоотжиме, кислотной промывке и ОКС К нецелесообразна как с технической, так и с экономической точек зрения, вследствие их низкой концентрации. Эти ОКС могут быть использованы в

качестве исходного сырья для получения комплексного минерального удобрения сульфонитрата аммония (СН) или азотно-калийного удобрения (АКУ) [10], [11].

На регенерацию 1 т исходной кислотной смеси состава (15,93% HNO_3 ; 66,3% H_2SO_4 ; 17,77% H_2O) затрачивается энергии в пересчете на природный газ: 7,8 м³ на стадии денитрации и 27 м³ на стадии концентрирования. Эти дополнительные затраты закладываются в себестоимость НЦ.

Также при уменьшении концентрации ОКС и нахождении точки ее состава левее линии эффективной денитрации появляется необходимость укрепления ОКС введением в колонну денитрации дополнительного количества 92% H_2SO_4 , что приводит к дополнительным энергозатратам на стадии концентрирования серной кислоты. Например, при денитрации кислотной смеси состава 16,5% HNO_3 ; 33,1% H_2SO_4 ; 50,4% H_2O необходимо вводить 1,63 т 92% H_2SO_4 на 1 т ОКС.

С учетом вышесказанного и учитывая, что стоимость 98 % HNO_3 в 3...4 раза выше стоимости 92% H_2SO_4 , рассматривается два наиболее эффективных решения с точки зрения снижения энергозатрат, затрат на техническое обслуживание и капитальный ремонт аппаратов регенерации и газоочистки.

Первым решением является полный отказ от концентрирования H_2SO_4 , а процесс денитрации проводить только для ОКС, не требующих дополнительного введения 92% H_2SO_4 в колонну денитрации. Образующуюся при этом в кубе колонны денитрации 68% H_2SO_4 эффективнее продавать, либо производить из нее целевой продукт – минеральное удобрение (сульфат аммония) или востребованный промышленностью сульфат алюминия, а из ОКС промывки и кислотоотжима производить СН или АКУ.

Вторым решением является полный отказ от регенерации ОКС любых концентраций и направление их на производство СН или АКУ.

Даже при наличии самых современных систем газоочистки в атмосферу выбрасывается 0,1...0,4 кг SO_2 и более при концентрировании каждой тонны серной кислоты

[12]. Поэтому полный отказ от регенерации кислот положительно скажется на экологической обстановке вокруг предприятия [13].

Обсуждение результатов

С помощью программного модуля были проанализированы возможные методы получения СН нейтрализацией кислотной смеси аммиаком или 25%-ной аммиачной водой с использованием и без использования в дальнейшем технологическом процессе тепла в виде пара, выделившегося в процессе нейтрализации (рис. 3 – получение сульфонитрата аммония; 1 – составы, нейтрализуемые газообразным аммиаком с полным использованием тепла нейтрализации; 2 – составы, нейтрализуемые аммиачной водой без использования тепла нейтрализации; 3 – составы, нейтрализуемые аммиачной водой с полным использованием тепла нейтрализации). Графическое отображение в дальнейшем можно использовать для быстрого определения возможности нейтрализации ОКС различных составов.

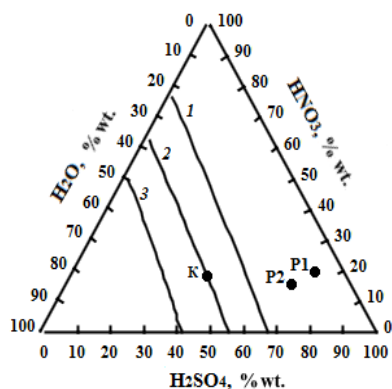


Рис. 3

Анализ данных показал, что из ОКС производства НЦ с содержанием кислоты выше 41,4...50,4% рентабельно получение соли с соотношением СН : H₂O = 0,95 : 0,05 и направление ее на грануляцию. Из ОКС с меньшей концентрацией возможно получение раствора солей, который можно использовать для производства жидких удобрений.

В результате нейтрализации аммиачной водой марки ХЧ и гидроксидом калия марки ХЧ ОКС П1 получены два образца удобрения. Первый образец – СН, второй образец – АКУ. Образцы были исследо-

ваны в лаборатории ООО "УкуЛаб" атомно-абсорбционным спектрометром МГА-1000 на наличие примесей металлов. Результаты исследований представлены в табл. 2 (содержание металлов в образцах удобрения).

Т а б л и ц а 2

№	Металл	Содержание, мг/кг	
		СН	АК
1	Al	497	470
2	Fe	626	547
3	Cr	156	248
4	Zn	-	-
5	Ni	3,07	-
6	Mn	41	37,5
7	Cd	-	-
8	As	-	-
9	Cu	1,99	6,52
10	Pb	-	-
11	V	-	-
12	Sr	1,13	1,34
13	Co	-	-
14	Se	-	-
15	Hg	-	-
16	Sn	-	-

Образцы удобрений содержат в значительных количествах Al, Fe, Cr, Mn и в небольших количествах Sr, Cu, Ni, отсутствуют металлы: Zn, Cd, As, Pb, V, Co, Se, Hg, Sn. Общее содержание металлов в СН – 0,1326%, а в АКУ – 0,131%. Примеси металлов не оказывают негативное влияние на потребительские свойства удобрения, так как не содержат металлы 1-го класса опасности.

Так как для нейтрализации ОКС использовались вещества марки ХЧ, можно сделать вывод о том, что все металлы перешли в удобрение из ОКС.

В процессе хранения 98% HNO₃ и 92% H₂SO₄, регенерации ОКС, происходит их загрязнение сульфатами железа, оксидами алюминия, хрома, магния, кремния, которые оказывают отрицательное воздействие на качество получаемой НЦ. При регенерации кислот часть металлов в виде сульфатов выпадает в осадок и удаляется на стадии денитрации и концентрирования, а оставшаяся часть попадает в резервуары для хранения вместе с концентрированными кислотами. Рабочая кислотная смесь нитрования целлюлозы, составленная с ис-

пользованием этих кислот, будет загрязнена. Примеси сульфатов металлов в тройной смеси негативно влияют на потребительские качества НЦ. При отказе от регенерации загрязненная кислота не будет попадать в рабочую кислотную смесь, что благоприятно скажется на качестве нитратов целлюлозы.

В предыдущих исследованиях [14] было выявлено более низкое содержание общего азота относительно теоретического в образцах удобрения и сделано предположение, что это связано не только с наличием нитроцеллюлозы в качестве примеси. Данное исследование подтверждает, что на уменьшение общего азота также оказывает влияние наличие сульфатов металлов в конечном продукте.

Основными путями поступления Fe, Cr и Mn является коррозия аппаратов и емкостей для хранения ОКС [15], а алюминий поступает вымыванием из кислотоупорных природных материалов [16], [17], которыми футерованы емкости хранения кислот и аппарат концентрирования H_2SO_4 .

ВЫВОДЫ

Более низкое содержание общего азота относительно теоретического в удобрении, полученном из ОКС, объясняется кроме наличия примесей НЦ, наличием примесей металлов.

Необходимо полностью отказаться от регенерации ОКС, так как этот процесс вносит значительное количество примесей металлов в кислотные смеси цикла нитрования. Это приведет к улучшению качества получаемой НЦ.

Утилизация ОКС с получением минеральных удобрений позволяет получить востребованные на рынке удобрения, снизить издержки производства и исключить газовые выбросы токсичных веществ в атмосферу за счет отказа от энергоемкого процесса регенерации кислот.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ким П.П., Петровский А.М., Перетрутов А.А., Комаров В.А., Чубенко М.Н. Регенерация отработан-

ной серной кислоты производства энергонасыщенных материалов с комплексным решением охраны окружающей среды и безопасности человека // Современные наукоемкие технологии. – 2015, № 7. С. 48...52.

2. Ким П.П., Пастухова Г.В., Перетрутов А.А., Чубенко М.Н., Ким В.П., Комаров В.А. Денитрация отработанной серной кислоты производства высокоэнергетических (энергонасыщенных) веществ и концентрирования азотной кислоты с помощью серной // Химическая промышленность сегодня. – 2015, № 1. С. 39...44.

3. Ким П.П., Перетрутов А.А., Ким В.П., Комаров В.А. Денитрация отработанной серной кислоты // Химическая промышленность сегодня. – 2013, №8. С. 9...10.

4. Савойская Е.В. Перспективы устойчивого развития предприятий по производству минеральных удобрений // Вестник Института экономики Российской академии наук. – 2018, № 3. С. 185...189.

5. Валишина З.Т., Романова М.А., Гафарова Г.Х., Косточко А.В. Утилизация отходов производства нитратов целлюлозы. Сообщение № 2 // Вестник технолог. ун-та. – 2017. Т. 20. Вып. 9. С. 140...144.

6. Сабиров Р.Ф., Махоткин А.Ф., Сахаров Ю.Н., Махоткин И.А., Сахаров И.Ю. Изменение кислотности среды в процессе разложения апатита серной кислотой // Вестник Воронежского гос. ун-та инженерных технологий. – 2019. Т. 81. Вып. 1. С.325...328. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2019-1-325-328>.

7. Мырхалыков Ж.У. Проблемы развития сырьевой базы текстильной промышленности Казахстана // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, №6. С. 12...15.

8. Ахметова Г.Ж., Байнеева П.Т., Саменова Н.Ж., Садыкова Ж.Е., Есиркепова А.М. Инновационные технологии в хлопководстве – как основа расширения сырьевой базы текстильных предприятий // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2019, №1. С. 57...63.

9. Халитов Р.А., Царева О.В., Махоткина Е.А. Предотвращение туманообразования при концентрировании отработанной серной кислоты // Вестник технолог. ун-та. – 2010. Вып. 10. С. 293.

10. Fazullin R. Kh., Khalitov R.A., Khuziahmetov R.Kh., Matuhin E.L., Fazullina A.A. Granular nitrogen and nitrogen-potassium fertilizers containing sulfur from the spent acid mixture of nitrocellulose production // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – V. 862, № 6, 2020. P. 160471. doi:10.1088/1757-899X/862/6/062034.

11. Фазуллин Р.Х., Халитов Р.А., Хузиахметов Р.Х. Получение N(S)- и NK(S)- удобрений из отработанной кислотной смеси производства нитратов целлюлозы // Сб. тез. в 6 томах "XXI Менделеевский съезд по общей и прикладной химии". – С.-П., 2019. Т. 3. С. 347.

12. Семочкин А.С., Хауринов А.И., Хакимов М.Ф., Наместников В.В., Гатина Р.Ф. Об особенно-

стях концентрирования серной кислоты в промышленных условиях // Вестник технолог. ун-та. – 2010. Вып. 8. С. 411...415.

13. Халитов Р.А., Махоткин А.Ф., Фазуллин Р.Х. Результаты промышленных испытаний малоотходной технологии концентрирования серной кислоты // Сб. докл. Междунар. науч.-техн. конф.: Инновационные подходы в решении современных проблем рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды. – Алушта, 2019. Т. 1. С. 135...142.

14. Фазуллин Р.Х., Фазуллина А.А., Хузиахметов Р.Х., Халитов Р.А. Определение содержания азота в сульфатонитратном удобрении, полученном из отработанной кислотной смеси производства нитратов целлюлозы // Вестник Казанского гос. технич. ун-та. – 2020. Т. 23. Вып. 2. С. 40...43.

15. Халитов Р.А., Степанов И.Н., Хайруллин Р.Р., Рахимов Р.А., Мадьяров Р.Р., Махоткин А.Ф. Коррозионная стойкость оборудования регенерации отработанных кислотных смесей производства нитратов целлюлозы // Вестник технолог. ун-та. – 2015. Т. 18. Вып. 8. С. 155...157.

16. Шишакина О.А., Паламарчук А.А., Кочуров Д.В. Применение кислотоупорной керамики в современной промышленности // Междунар. студенческий научный вестник. – 2018, №6.

17. Пасечник Л.А., Сабирзянов Н.А., Яценко С.П. Растворимость в системе $Al_2(SO_4)_3$ - $FESO_4$ - H_2SO_4 - H_2O при 25 °С // Журнал неорганической химии. – 2005. Т. 50, № 4. С. 717...720.

REFERENCES

1. Kim P.P., Petrovskiy A.M., Peretrutov A.A., Komarov V.A., Chubenko M.N. Regeneratsiya otrabotannoy sernoy kisloty proizvodstva energonasyshchennykh materialov s kompleksnym resheniem okhrany okruzhayushchey sredy i bezopasnosti cheloveka // Sovremennye naukoemkie tekhnologii. – 2015, № 7. С. 48...52.

2. Kim P.P., Pastukhova G.V., Peretrutov A.A., Chubenko M.N., Kim V.P., Komarov V.A. Denitratsiya otrabotannoy sernoy kisloty proizvodstva vysokoenergeticheskikh (energonasyshchennykh) veshchestv i kontsentrirovaniya azotnoy kisloty s pomoshch'yu sernoy // Khimicheskaya promyshlennost' segodnya. – 2015, № 1. С. 39...44.

3. Kim P.P., Peretrutov A.A., Kim V.P., Komarov V.A. Denitratsiya otrabotannoy sernoy kisloty // Khimicheskaya promyshlennost' segodnya. – 2013, №8. С.9...10.

4. Savoyskaya E.V. Perspektivy ustoychivogo razvitiya predpriyatiy po proizvodstvu mineral'nykh udobreniy // Vestnik Instituta ekonomiki Rossiyskoy akademii nauk. – 2018, № 3. С. 185...189.

5. Valishina Z.T., Romanova M.A., Gafarova G.Kh., Kostochko A.V. Utilizatsiya otkhodov proizvodstva nitratov tsellyulozy. Soobshchenie № 2 // Vestnik tekhnolog. un-ta. – 2017. Т. 20. Вып. 9. С. 140...144.

6. Sabirov R.F., Makhotkin A.F., Sakharov Yu.N., Makhotkin I.A., Sakharov I.Yu. Izmenenie kislotnosti sredy v protsesse razlozheniya apatita sernoy kislotoy // Vestnik Voronezhskogo gos. un-ta inzhenernykh tekhnologiy. – 2019. Т. 81. Вып. 1. С.325...328. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2019-1-325-328>.

7. Myrkhalykov Zh.U. Problemy razvitiya syr'evoy bazy tekstil'noy promyshlennosti Kazakhstana // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2013, №6. С. 12...15.

8. Akhmetova G.Zh., Bayneeva P.T., Samenova N.Zh., Sadykova Zh.E., Esirkepova A.M. Innovatsionnye tekhnologii v khlopkovodstve – kak osnova rasshireniya syr'evoy bazy tekstil'nykh predpriyatiy // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2019, №1. С. 57...63.

9. Khalitov R.A., Tsareva O.V., Makhotkina E.A. Predotvrashchenie tumanoobrazovaniya pri kontsentrirovani otrabotannoy sernoy kisloty // Vestnik tekhnolog. un-ta. – 2010. Вып. 10. С. 293.

10. Fazullin R. Kh., Khalitov R.A., Khuziahmetov R.Kh., Matuhin E.L., Fazullina A.A. Granular nitrogen and nitrogen-potassium fertilizers containing sulfur from the spent acid mixture of nitrocellulose production // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – V. 862, № 6, 2020. R. 160471. doi:10.1088/1757-899X/862/6/062034.

11. Fazullin R.Kh., Khalitov R.A., Khuziahmetov R.Kh. Poluchenie N(S)- i NK(S)- udobreniy iz otrabotannoy kislotnoy smesi proizvodstva nitratov tsellyulozy // Sb. tez. v 6 tomakh "XXI Mendeleevskiy s"ezd po obshchey i prikladnoy khimii". – S.-P., 2019. Т. 3. С. 347.

12. Semochkin A.S., Khatsrinov A.I., Khakimov M.F., Namestnikov V.V., Gatina R.F. Ob osobennostyakh kontsentrirovaniya sernoy kisloty v promyshlennykh usloviyakh // Vestnik tekhnolog. un-ta. – 2010. Вып. 8. С. 411...415.

13. Khalitov R.A., Makhotkin A.F., Fazullin R.Kh. Rezul'taty promyshlennykh ispytaniy malootkhodnoy tekhnologii kontsentrirovaniya sernoy kisloty // Sb. dokl. Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf.: Innovatsionnye podkhody v reshenii sovremennykh problem ratsional'nogo ispol'zovaniya prirodnykh resursov i okhrany okruzhayushchey sredy. – Alushta, 2019. Т.1. С.135...142.

14. Fazullin R.Kh., Fazullina A.A., Khuziahmetov R.Kh., Khalitov R.A. Opredelenie soderzhaniya azota v sul'fatonitratnom udobrenii, poluchennom iz otrabotannoy kislotnoy smesi proizvodstva nitratov tsellyulozy // Vestnik Kazanskogo gos. tekhnich. un-ta. – 2020. Т. 23. Вып. 2. С. 40...43.

15. Khalitov R.A., Stepanov I.N., Khayrullin R.R., Rakhimov R.A., Mad'yarov R.R., Makhotkin A.F. Korroziionnaya stoykost' oborudovaniya regeneratsii otrabotannykh kislotnykh smesey proizvodstva nitratov tsellyulozy // Vestnik tekhnolog. un-ta. – 2015. Т. 18. Вып. 8. С. 155...157.

16. Shishakina O.A., Palamarchuk A.A., Kochurov D.V. Primenenie kislotoupornoy keramiki v sovremennoy promyshlennosti // Mezhdunar. studencheskiy nauchnyy vestnik. – 2018, №6.

17. Pasechnik L.A., Sabirzyanov N.A., Yatsenko S.P. Rastvorimost' v sisteme $AL_2(SO_4)_3-FESO_4-H_2SO_4-H_2O$

pri 25 °S // Zhurnal neorganicheskoy khimii. – 2005. T.50, № 4. S. 717...720.

Рекомендована кафедрой оборудования химических заводов. Поступила 02.06.21.
