

Научная статья

УДК 66.067.9+66.074.5.081.3

## ОСОБЕННОСТИ ХЕМОСОРБЦИОННОЙ ОЧИСТКИ ГАЗОВ ОТ СЕРОВОДОРОДА ТРИЛОНАТНЫМ КОМПЛЕКСОМ ЖЕЛЕЗА (III)

**Юлия Анатольевна Горбатенко<sup>1</sup>, Борис Нутович Дрикер<sup>2</sup>,  
Николай Николаевич Стягов<sup>3</sup>, Юлия Андреевна Чусова<sup>4</sup>**

<sup>1-4</sup> Уральский государственный лесотехнический университет,  
Екатеринбург, Россия

<sup>1</sup> gorbatenko.yua@m.usfeu.ru

<sup>2</sup> drikerbn@m.usfeu.ru

<sup>3</sup> nstyagov@gmail.com

<sup>4</sup> chusova0108@mail.ru

**Аннотация.** Описана технологическая линия обезвреживания промышленных выбросов от сероводорода с использованием в качестве абсорбента трилонатного комплекса железа(III). Преимуществом разработанной технологии является высокая эффективность обезвреживания промышленных выбросов, пониженная коррозионная активность абсорбента, легкость регенерации отработанного раствора и возможность получения из продуктов рекуперации товарного серусодержащего продукта – элементарной серы.

**Ключевые слова:** абсорбционная очистка газа, сероводород, трилонатный комплекс железа (III), технологическая линия

**Для цитирования:** Особенности хемосорбционной очистки газов от сероводорода трилонатным комплексом железа (III) / Ю. А. Горбатенко, Б. Н. Дрикер, Н. Н. Стягов, Ю. А. Чусова // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий = Effective reaction to modern challenges of the interaction between human and nature, human and technologies : материалы XVI Международной научно-технической конференции. Екатеринбург, 2025. С. 411–417.

Original article

## FEATURES OF CHEMISORPTION PURIFICATION OF GASES FROM HYDROGEN SULFIDE BY A TRILONATE COMPLEX IRON (III)

**Yulia A. Gorbatenko<sup>1</sup>, Boris N. Driker<sup>2</sup>, Nikolay N. Styagov<sup>3</sup>,  
Yulia A. Chusova<sup>4</sup>**

<sup>1-4</sup> Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russia

<sup>1</sup> gorbatenkoyua@m.usfeu.ru

<sup>2</sup> drikerbn@m.usfeu.ru

<sup>3</sup> nstyagov@gmail.com

<sup>4</sup> chusova0108@mail.ru

**Abstract.** The paper describes a technological line for the neutralization of industrial emissions from hydrogen sulfide using an iron (III) trilonate complex as an absorbent. The advantage of the developed technology is the high efficiency of neutralization of industrial emissions, reduced corrosive activity of the absorbent, ease of regeneration of the spent solution and the possibility of obtaining a commercial sulfur-containing product from the recovery products - elemental sulfur.

**Keywords:** absorption purification of gas, hydrogen sulfide, iron (III) trilonate complex, processing line

**For citation:** Osobennosti hemosorbtsionnoj ochistki gazov ot serovodoroda trilonatnym kompleksom zheleza (III) [Features of chemisorption purification of gases from hydrogen sulfide by a trilonate complex iron (III)] (2025) Yu. A. Gorbatenko, B. N. Driker, N. N. Styagov, Yu. A. Chusova. Effektivnyi otvet na sovremennye vyzovy s uchetom vzaimodeistviya cheloveka i prirody, cheloveka I tekhnologii [Effective reaction to modern challenges of the interaction between human and nature, human and technologies] : proceedings of the XVI International Scientific and Technical Conference. Ekaterinburg : USFEU, 2025. P. 411–417. (In Russ).

Очистка промышленных выбросов от серосодержащих газообразных компонентов, особенно от сероводорода, является актуальной проблемой для многих промышленных предприятий химической, нефтехимической и целлюлозно-бумажной промышленности. Наиболее остро сегодня стоит вопрос не просто обеспечить обезвреживание выбросов до требуемых нормативных значений, но и существенным образом сократить затраты на регенерацию отработанного раствора, что является главным недостатком всех известных и апробированных к настоящему времени технологий очистки воздуха от сероводорода.

Проводимые ранее исследования [1] показали, что достаточно эффективным абсорбентом по отношению к сероводороду является трилонатный комплекс железа(III), полученный путем смешения раствора железосамонийных квасцов ( $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ) с динатриевой солью этилендиаминтетрауксусной кислоты ( $\text{NaЭДТА}$ ). Полученный абсорбент обеспечивает не только высокую эффективность очистки серосодержащих газов (более 99 %):



возможностью получения серы коллоидной степени дисперсности, но и легкостью регенерации отработанного раствора.

Для регенерации отработанного раствора и получения устойчивого комплекса железа (III) достаточно обеспечить хорошее аэрирование раствора. Продувка воздуха через раствор решает сразу несколько технологических задач: во-первых, обеспечивается перемешивание отработанного (регенерированного) раствора и свежего раствора абсорбента; во-вторых, осуществляется регенерация отработанного раствора за счет окисления  $Fe^{2+}$  в  $Fe^{3+}$ , и как следствие, восстановление сорбционной емкости сорбента; в третьих, флотация образующейся при регенерации раствора коллоидной серы с последующим её удалением в верхней части аппарата.

Известно [2, 3], что абсорбенты, полученные на основе ионов железа (III) обладают высокой коррозионной активностью. Предлагаемый для абсорбционной очистки газов трилонатный комплекс железа (III) также не лишен данного недостатка. Лабораторные исследования влияния корродирующих свойств абсорбента на металлические коммуникации подтвердили крайне высокую коррозионную активность, составляющую до 12 мм/год. Одним из путей решения данной проблемы является использование ингибиторов коррозии. Одним из эффективных и экологичных ингибиторов является магниевый комплексонат нитрилотриметиленфосфоновой кислоты (Mg-НТФ) [4–6]. Исследование скорости коррозии проводилось периодически с помощью прибора «Эксперт-004» с интервалом 8 мин, время экспозиции составляло 352 мин, на стальных электродах (Ст. 3), предварительно зачищенных до 8 класса шероховатости и обезжиренных этиловым спиртом, при перемешивании ( $Re_{ц} = 12\ 000$ ). Диапазон концентраций ингибиторов изменяли в интервале от 100 мг/дм<sup>3</sup> до 1000 мг/дм<sup>3</sup> (таблица).

### Влияние концентрации ингибитора на снижении скорость коррозии

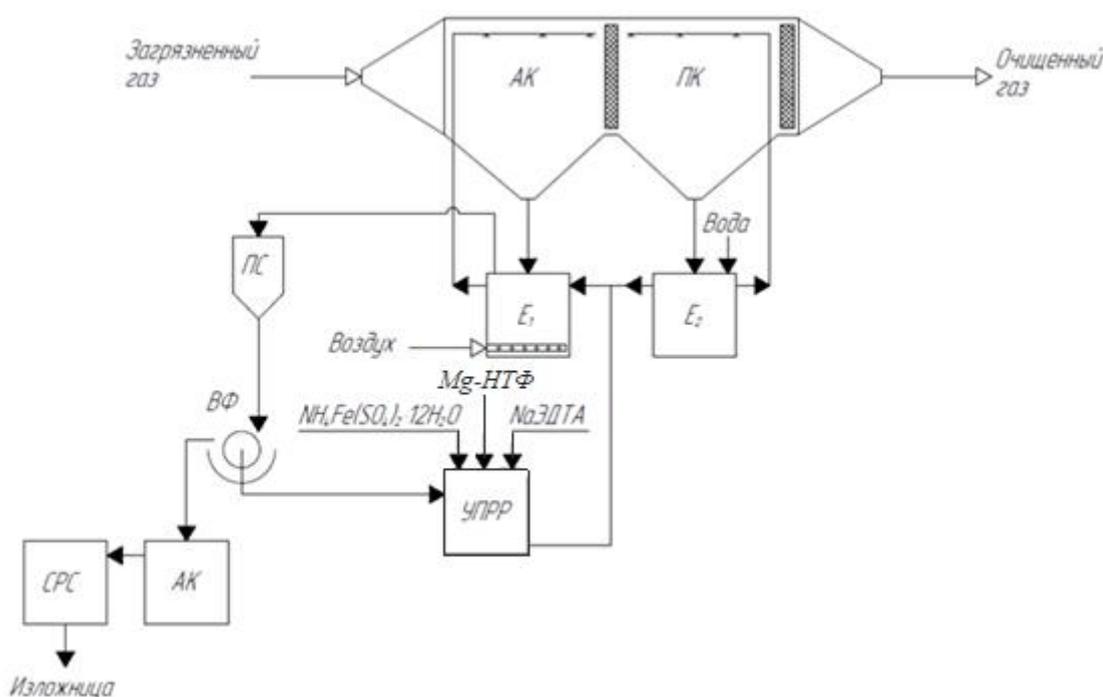
Концентрация ингибитора, мг/дм <sup>3</sup>	Конечная скорость коррозии, мкм/год	Эффективность защиты, %
0	12000	–
100	604	94,97
200	305	97,46
500	280	97,67
750	145	98,79
1000	75	99,375

Из представленных данных видно, что эффективность ингибирования в диапазоне концентрация 100...500 мг/дм<sup>3</sup> незначительно зависит от концентрации Mg-НТФ. Скорость коррозии заметно убывает с ростом концентрации с 500 до 1000 мг/дм<sup>3</sup>.

Исследование влияния изменения величины коррозии в диапазоне концентраций в разные периоды экспозиции, показало, что конечная величина

коррозии (через 60 мин) мало зависит от концентрации используемого реагента, и практически не меняется во временном интервале (60 до 320 мин). Наиболее заметное снижение величины коррозии наблюдается в диапазоне концентраций от 200 до 1000 мг/дм<sup>3</sup>, однако, если в диапазоне концентраций 200...500 мг/дм<sup>3</sup> конечное значение величины коррозии составляет 305 и 280 мкм/год (против 12000 мкм/год), то с ростом до 1000 мг/дм<sup>3</sup>, соответственно величина коррозии снижается до 75 мкм/год. На основании полученных исследований найдена оптимальная доза ингибитора – 0,1 % масс. от общего объема трилонатного комплекса железа (III).

На основании полученных экспериментальных данных разработана технология абсорбционной очистки газа от сероводорода трилонатным комплексом железа (III) (рисунок).



Абсорбционная технология очистки газов от сероводорода с применением трилонатного комплекса железа (III):

АК – абсорбционная камера; ПК – промывная камера; Е<sub>1</sub> и Е<sub>2</sub> – емкости для сбора растворов от абсорбционной и промывной камер, соответственно; УПРР – узел приготовления рабочего раствора абсорбента - трилонатного комплекса железа (III); ПС – пеносборник; А – автоклав; СРС – сборник расплавленного раствора

Загрязненный газ, содержащий сероводород, поступает на очистку в полый абсорбер. В качестве абсорбера предлагается использовать не стандартный вертикальный абсорбер, а горизонтальный, состоящий из двух камер, разделенных между собой каплеуловителем. Первая камера – абсорбционная (АК), предназначенная для очистки газа от сероводорода, вторая – промывная (ПК) – для выделения из газа капель абсорбента, выносимых из абсорбционной камеры. Использование такой конструкции аппарата решает

проблему размещения абсорбера внутри цеха (участка) за счет существенного уменьшения строительной высоты газопромывателя, а также сокращения капитальных и эксплуатационных затрат (обычные вертикальные полые скрубберы характеризуются значительным брызгоуносом, что требует применения выносного каплеуловителя и соединяющих коммуникаций).

Орошение абсорбционной камеры (АК) осуществляется рабочим раствором, полученным в емкости (УППР) путем смешения 0,1 Н раствора железоаммонийных квасцов, 0,1 Н трилона Б и ингибитора Mg-НТФ. Рабочий раствор предварительно подается в емкость ( $E_1$ ), где благодаря подаче в нижней части сжатого воздуха обеспечивается равномерное перемешивание всех реагентов. Стабилизированный по составу раствор абсорбента подается на орошение абсорбера.

В абсорбционной камере (АК) при взаимодействии сероводорода с раствором трилонатного комплекса железа(III) протекает химическая абсорбция. Отработанный раствор собирается в емкости ( $E_1$ ), в нижней части которой проложен перфорированный трубопровод для подачи сжатого воздуха. Барботирование воздуха обеспечивает регенерацию отработанного раствора и флотацию выделившейся серы, которая в виде пены собирается в верхней части емкости. По мере формирования серная пена переливается в пенный карман, откуда самотеком поступает в пеносборник (ПС), где осуществляется её гашение.

Регенерированный раствор абсорбента при помощи насоса вновь подается на орошение в абсорбционную камеру и цикл абсорбция – десорбция повторяется.

Воздух, очищенный в абсорбционной камере, пройдя каплеуловитель, поступает в промывную камеру (ПК), орошаемую водой, подаваемой из емкости  $E_2$ . По мере циркуляции воды в цикле орошения промывной камеры, концентрация поглотительного раствора увеличивается, поэтому периодически часть раствора из системы орошения промывной камеры (из емкости  $E_2$ ), перекачивается в систему орошения абсорбционной камеры (в емкость  $E_1$ ).

Образующаяся при регенерации серная пена может быть использована для получения товарной серы, востребованной при производстве сероуглерода и серной кислоты. Для получения товарной серы гашеную серную пену предлагается подавать на обезвоживание в вакуум-фильтр (ВФ); фильтрат отправлять в узел приготовления рабочего раствора абсорбента (УППР), а фугат, в виде серной пасты, по течке в автоклав (А), где под действием острого пара осуществляется плавление серы. Расправленная сера собирается в сборнике расплавленной серы (СРС), откуда разливается по изложницам.

Разработанная технология абсорбционной очистки газов от сероводорода трилонатным комплексом железа(III) обеспечивает высокую эффективность обезвреживания промышленных выбросов от сероводорода

(до 99 %), легкость регенерации отработанного раствора и возможность получения товарного продукта в виде элементарной серы, обеспечивая снижение себестоимости очистки 1 м<sup>3</sup> загрязненного газа.

## *Список источников*

1. Эффективный реагент для очистки промышленных отходов от сульфид-ионов и сероводорода / Ю. А. Горбатенко, Б. Н. Дрикер, Ю. А. Чусова, Н. Н. Стягов // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий: социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса : материалы XV Международной научно-технической конференции. Екатеринбург : Изд-во УГЛТУ, 2024. С. 546–549.

2. Патент на изобретение № 1287346 РФ, МПК : B01D53/14, B01D53/52. Абсорбент для очистки газов от сероводорода : заявл. 23.01.2003 : опубл. 20.02.2005 / А. М. Фахриев, Р. А. Фахриев, В. Н. Мартынец [и др.] ; заявитель и патентообладатель Фахриев Ахматфаиль Магсумович (RU), ООО «НЕФТЕГАЗ ИНЖИНИРИНГ» (RU).

3. Мазгаров А. М., Корнетова О. М. Технологии очистки попутного нефтяного газа от сероводорода : учебно-методическое пособие. Казань : Казан. ун-т, 2015. 70 с.

4. Стягов Н. Н., Дрикер Б. Н. Получение и свойства ингибитора многоцелевого назначения // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий : материалы XV Международной научно-технической конференции. Екатеринбург : Изд-во УГЛТУ, 2024. С. 563–567.

5. Протазанов А. А., Стягов Н. Н., Дрикер Б. Н. Защита водных объектов от продуктов коррозии и минеральных отложений : выбор оптимальных ингибиторов // Водное хозяйство России : проблемы, технологии, управление. 2024. № 1. С. 100–108.

6. Ингибирование коррозии конструкционных сталей / А. А. Протазанов, Н. В. Цирульникова, Ю. А. Горбатенко, Б. Н. Дрикер. Практика противокоррозионной защиты. 2020. Т. 25, № 4. С. 40–47.

## *References*

1. Effective reagent for cleaning industrial waste from sulfide ions and hydrogen sulfide / Yu. A. Gorbatenko, B. N. Driker, Yu. A. Chusova, N. N. Styagov // Effective reaction to modern challenges of the interaction between human and nature, human and technologies : proceedings of the XV International Scientific and Technical Conference. Ekaterinburg: Publishing house of USFEU, 2024. P. 546–549.

2. Patent for invention № 1287346 RF, IPC: B01D53/14, B01D53/52. Absorbent for cleaning gases from hydrogen sulfide: declared. 23.01.2003 : publ. 20.02.2005 / A. M. Fakhriev, R. A. Fakhriev, V. N. Martynets [et al.] ; applicant and patent holder Akhmatfail Magsumovich Fakhriev (RU), NEFTEGAZ ENGINEERING LLC (RU).

3. Mazgarov A. M., Kornetova O. M. Technologies for cleaning associated petroleum gas from hydrogen sulfide : a teaching aid. Kazan : Kazan. University, 2015. 70 p.

4. Styagov N. N., Driker B. N. Production and properties of a multipurpose inhibitor // Effective reaction to modern challenges of the interaction between human and nature, human and technologies : proceedings of the XV International Scientific and Technical Conference. Ekaterinburg : Publishing house of USFEU, 2024. P. 563–567.

5. Protazanov A. A., Styagov N. N., Driker B. N. Protection of water bodies from corrosion products and mineral deposits : selection of optimal inhibitors // Water management of Russia: problems, technologies, management. 2024. № 1. P. 100–108.

6. Inhibition of corrosion of structural steels / A. A. Protazanov, N. V. Tsirulnikova, Yu. A. Gorbatenko, B. N. Driker. Practice of anti-corrosion protection. 2020. Vol. 25, № 4. P. 40–47.