

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 622.692.4

**СЕРООЧИСТКА НИЗКОДАВЛЯЮЩЕГО ГАЗА: ТЕХНОЛОГИЯ
И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ НЕФТЕНАЛИВА****Валерий Павлович Мешалкин¹, Евгений Александрович Бабаков², Николай Александрович Бумагин³, Михаил Яковлевич Мельников⁴, Людмила Александровна Тюрина⁵**^{1,2} Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева^{2,3,5} ООО «Старт-Катализатор»^{3,4,5} МГУ имени М.В. Ломоносова, химический факультет**Автор, ответственный за переписку:** Евгений Александрович Бабаков, babakhol@mail.ru

Аннотация. Разработаны технология и оборудование для очистки газовых потоков с низким давлением от примесей сероводорода и меркаптанов. На примере модельных смесей низконапорного газа в дисковом пленочном аппарате показана эффективность каталитической сероочистки до остаточного содержания серосодержащих соединений (SH) <10 ppm. Рассмотрены перспективы создания блоков сероочистки для рекуперации паров налива нефти с получением углеводородов товарного качества, а также очистки атмосферных выбросов от серосодержащих экотоксикантов и углеводородов в процессах нефтеналива.

Ключевые слова: сероводород, меркаптаны, сероочистка, рекуперация паров углеводородов, технология, оборудование

Финансирование. Финансовая поддержка исследования осуществлялась в рамках государственного задания АААА-А21-121011590090-7.

Для цитирования: Мешалкин В.П., Бабаков Е.А., Бумагин Н.А., Мельников М.Я., Тюрина Л.А. Сероочистка низконапорного газа: технология и оборудование для нефтеналива // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 2. Химия. Т. 63. № 6. С. 418–421.

ORIGINAL ARTICLE

**DESULPHURIZATION OF LOW-PRESSURE GAS: TECHNOLOGY
AND EQUIPMENT FOR OIL RECOVERY****Valery P. Meshalkin¹, Evgeny T. Babakov², Nikolay A. Bumagin³, Mikhail Ya. Melnikov⁴, Lyudmila A. Tjurina⁵**^{1,2} D.I. Mendeleev Russian University of Chemical Technology^{2,3,5} Start-Catalyst LLC^{3,4,5} Lomonosov Moscow State University, Faculty of Chemistry**Corresponding author:** Evgeny T. Babakov, babakhol@mail.ru

Abstract. Technology and equipment have been developed for cleaning low-pressure gas streams from hydrogen sulfide and mercaptan impurities. The efficiency of catalytic desulphurization to a residual content of sulfur-containing compounds (SH) <10 ppm is shown on the example of model mixtures of low-pressure gas in a disk film apparatus. The prospects for the creation of desulphurization units for the recovery of oil loading vapors with the production of commercial quality hydrocarbons, as well as

for the purification of atmospheric emissions from sulfur-containing ecotoxicants and hydrocarbons in the processes of oil loading, are considered.

Keywords: hydrogen sulfide, mercaptans, desulfurization, vapor recovery unit, technology, equipment

Financial Support. Financial support for the research was carried out within the framework of the state task AAAA21-121011590090-7.

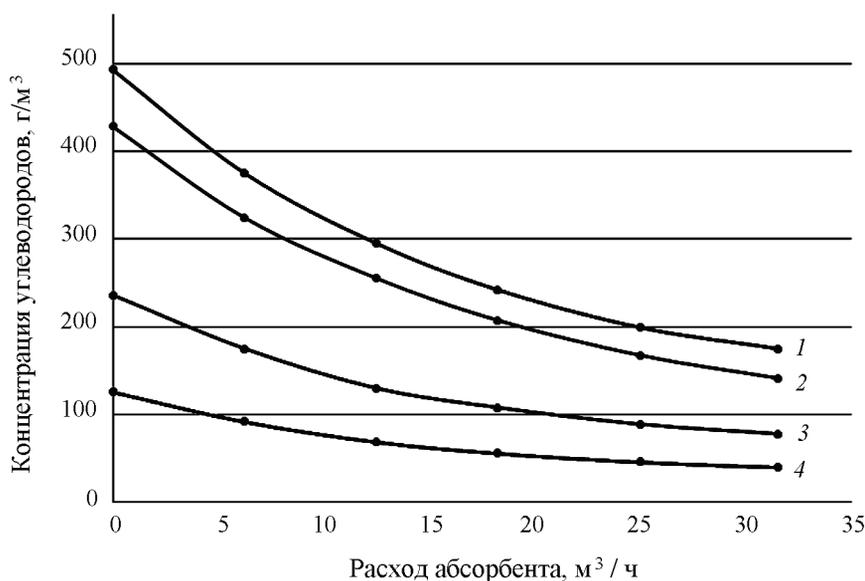
For citation: Meshalkin V.P., Babakov E.T., Bumagin N.A., Melnikov M.Ya., Tjurina L.A. Desulphurization of Low-Pressure Gas: Technology and Equipment for Oil Recovery // Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 2. Chemistry. T. 63. № 6. S. 418–421.

Сероводород и меркаптаны относятся к числу наиболее агрессивных и токсичных примесей в составе углеводородного сырья. Содержание этих экотоксикантов в товарной продукции и атмосферных выбросах регламентировано на уровне сотых долей процента. В современной газовой промышленности используется целый ряд технологий для обеспечения нормативных значений по количеству сероводорода и меркаптанов в очищаемом сырье, а также требований к утилизации сероводорода в серу и атмосферной эмиссии серосодержащих примесей. Однако применение этих технологий к очистке низконапорного сырья с избыточным давлением $\ll 1$ атм затруднено. В частности, процессы налива нефти сопровождаются образованием газовых потоков в количестве 4000–40 000 м³/ч. Содержание углеводородов в парах налива

составляет 200–800 г/м³, а примесей сероводорода, меркаптанов – около 0,1%. Состав паров нефтеналива определяет необходимость сепарации углеводородных компонентов, присутствующих в них в количестве до 10 т/ч, а также требования к очистке атмосферных выбросов от углеводородов и серосодержащих экотоксикантов.

В настоящей работе исследован процесс сепарации углеводородов раствором дизельного топлива в дисковом пленочном аппарате [1] при избыточном давлении $\ll 1$ атм.

Результаты моделирования абсорбции углеводородов дизельным топливом, проведенные с использованием программного пакета Aspen Hysys [2] приведены на рисунке. Как видно из рисунка, абсорбция углеводородов дизельным топливом в дисковом пленочном аппарате [1] обеспечивает снижение их



Зависимость концентрации углеводородов в атмосферных выбросах при наливе нефти от расхода абсорбента при исходном содержании углеводородов (г/м³): 500 (1), 420 (2), 250 (3), 120 (4). Расход сырья на очистку 1000 м³/ч, $T = 25$ °C, $p = 0,07$ атм

Содержание сероводорода (H₂S) и метилмеркаптана (CH₃SH) до и после сероочистки модельной смеси в присутствии гомогенного катализатора при температуре 25 °С и атмосферном давлении

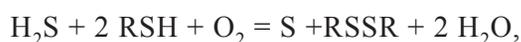
Номер опыта	Объем раствора катализатора в дизельном топливе, мл	Количество катализатора, мл*	Скорость газа, л/мин	[H ₂ S], ppm		[CH ₃ SH], ppm	
				вход	выход	вход	выход
1	200	0,1	8,0	250	6	250	10
2	200	0,1	7,0	250	7	250	10
3	200	0,3	6,0	250	7	250	10
4	200	0,3	5,0	250	0*	250	0*
5	200	0,5	5,0	250	0*	250	0*

* Ниже предела определения по методике ГОСТ 22387.2-2014.

атмосферной эмиссии. Выход углеводородов при этом может составлять от 1 до 10 т/ч в зависимости от производительности процесса по газу и углеводородам.

Для получения углеводородов товарного качества с содержанием производных серы не более 10 ppm исследована каталитическая сероочистка модельной смеси газа (состав модельной смеси метан, воздух 5000 ppm, сероводород 250 ppm, метилмеркаптан 250 ppm) в растворе катализатора в дизельном топливе.

Сероочистку/демеркаптаннизацию газа проводили по реакции



по методике, предложенной в [3] при температуре 25 °С и атмосферном давлении. Содержание сероводорода и меркаптанов на входе и выходе для сероочистки в лабораторном реакторе барботажного типа приведено в таблице.

Как видно из данных таблицы, реакция протекает в процессе барботажа очищаемой смеси через раствор катализатора. Содержание се-

росодержащих экотоксикантов снижается до ≤ 10 ppm, как и в случае промышленной очистки ПНГ [4]. Реакция может быть реализована и в дисковом пленочном аппарате, если давление газа $\ll 1$ атм [3].

Реализация каталитической очистки в дисковом пленочном аппарате [3] позволяет очистить газ от примесей сероводорода и меркаптанов. Конструкция аппарата при этом обеспечивает абсорбцию углеводородов из потока низконапорного газа одновременно с сероочисткой.

Таким образом, в настоящей работе установлена возможность совмещения сероочистки и абсорбции углеводородов из потока низконапорного газа в дисковом пленочном аппарате. Предлагаемая новая технология отвечает основным требованиям к блокам сероочистки для установок рекуперации паров (УРП) налива нефти [5–8], а УРП с блоком сероочистки смогут обеспечить не только отсутствие атмосферных выбросов углеводородов и серосодержащих экотоксикантов, но и получение товарных углеводородов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Babakov E.A., Tyurin A.A. // RU Pat 2768952. 2022 [Бабаков Е.А., Тюрин А.А., Пат. РФ. 2768952. 2022].
2. HYSYS Simulation Basis // Aspen Technology. Inc. 2005. 527 p.
3. Akhmadeev A.A., Kabanov I.A., Svetkin A.V., Tyurin A.A., Babakov E.A., Tyurina L.A. // RU Pat 2649442. 2022 [Ахмадеев А.А., Кабанов И.А., Светкин А.В., Тюрин А.А., Бабаков Е.А., Тюрин Л.А. Пат. РФ. 2649442. 2022].
4. Ахмадеев А.А., Кабанов И.А., Светкин А.В., Сергеев А.П., Тюрин А.А., Бабаков Е.А., Бумагин Н.А., Мельников М.Я., Тюрин Л.А. // Нефтяное хозяйство. 2020. № 12. С. 143.
5. Fetisov V.G., Mohammadi A.H., Pshenin V.V., Kupavykh K.S., Artyukh D.E. // Revue d'IFP Energies Nouvelles. 2021. № 76. P. 1.
6. Meshalkin V.P., Dovi V.G., Bobkov V.I., Belyakov A.V., Butusov O.B., Garabadzhiu A.V., Burukhina T.F., Khodchenko S.M. // Mendeleev Commun. 2021. Vol. 31. P. 593.
7. Rajabi Hamid, Mosleh Mojgan Hadi, Mandal Parthasarathi, Lea-Langton Amanda, Sedighi Majid.

Science of The Total Environment. 2020. Vol. 727. P. 132. 8. Khan F.I., Ghoshal, A.K. // Journal of Loss Prevention in the Process Industries 2000. Vol. 13. P. 527.

Информация об авторах

Мешалкин Валерий Павлович – зав. кафедрой Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева, докт. техн. наук, академик, vpmeshalkin@gmail.com;

Бабакоев Евгений Александрович – аспирант Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева, сотр. ООО «Старт-Катализатор», babakhol@mail.ru;

Бумагин Николай Александрович – вед. науч. сотр. МГУ имени М.В. Ломоносова, сотр. ООО «Старт-Катализатор», докт. хим. наук, bna51@mail.ru;

Мельников Михаил Яковлевич – зав. кафедрой МГУ имени М.В. Ломоносова, докт. хим. наук, melnikov46@mail.ru;

Тюрина Людмила Александровна – вед. науч. сотр. МГУ имени М.В. Ломоносова, докт. хим. наук, генеральный директор ООО «Старт-Катализатор», tjurinala@mail.ru.

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 16.04.2022;
одобрена после рецензирования 12.05.2022;
принята к публикации 14. 05.2022.