

## ПОДБОР И ИСПЫТАНИЯ АДсорбЕНТОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СЖИЖЕННЫХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ЕВРОПЕЙСКИХ СТАНДАРТОВ

УДК 544.723.212

С.А. Молчанов, к. т. н., ООО «Газпром добыча Оренбург»  
(Оренбург, РФ)

А.А. Брюхов, ООО «Газпром добыча Оренбург»

А.В. Исаев, ООО «Газпром добыча Оренбург»

Е.А. Жирова, к. х. н., ООО «Газпром добыча Оренбург», gz@gdo.gazprom.ru

Д.А. Медведев, ООО «Салаватский катализаторный завод (Салават, Республика Башкортостан, РФ), mail@skatz.ru

А.Е. Рубанов, к. х. н., ООО «Салаватский катализаторный завод»

Р.А. Зотов, ООО «Салаватский катализаторный завод»

В статье описывается опыт доведения качества сжиженных углеводородных газов (СУГ), вырабатываемых на Гелиевом заводе (ГЗ) ООО «Газпром добыча Оренбург», до требований европейского стандарта EN 589 [1]. Опытно-промышленные испытания адсорбента Selexsorb COS (производства компании BASF) позволили вырабатывать пропан-бутан технический (ПБТ) с пониженным содержанием общей серы. В сотрудничестве со специалистами ГЗ на основании опыта и анализа работы установки очистки широкой фракции легких углеводородов (ШФЛУ) на адсорбенте Selexsorb COS Салаватский катализаторный завод разработал и освоил производство нового адсорбента – Alusorb COS. В 2015–2016 гг. были проведены опытно-промышленные испытания адсорбента Alusorb COS в сравнении с Selexsorb COS. Анализ результатов испытаний показал, что оба адсорбента обеспечивают практически одинаковый уровень очистки ШФЛУ от общей серы и серооксида углерода. Выработка ПБТ, соответствующего требованиям EN 589, увеличилась с 30 до 65 %. Отделение очистки ШФЛУ полностью перешло на использование адсорбента отечественного производителя. В 2018–2019 гг. после создания отделения очистки СУГ будет обеспечено гарантированное 100%-е качество вырабатываемого продукта ПБТ по стандарту EN 589 на применяемых отечественных сорбентах.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ШФЛУ, СУГ, ПБТ, EN 589, ОЧИСТКА ОТ СЕРНИСТЫХ СОЕДИНЕНИЙ, СОДЕРЖАНИЕ ОБЩЕЙ СЕРЫ, СОРБЕНТЫ, SELEXSORB COS, ALUSORB COS.

Рост объемов добычи и переработки сернистого углеводородного сырья, повышение требований к качеству продукции, а также задачи охраны окружающей среды от загрязнения сернистыми соединениями выдвигают проблему совершенствования методов очистки углеводородного сырья от сернистых соединений в число важнейших. Наличие «активной» серы (сероводорода, меркаптанов, серооксида углерода, сероуглерода и элементной серы) в нефтепродуктах, сжижен-

ных газах вызывает интенсивную коррозию оборудования и существенно снижает стоимость углеводородной продукции. В связи с этим современная маркетинговая политика газовых и нефтяных компаний заставляет искать пути производства конкурентоспособной на мировом рынке продукции. Работа, проводимая для улучшения качества выпускаемых СУГ, своевременна и актуальна.

Гелиевый завод ООО «Газпром добыча Оренбург» – современ-

ное динамично развивающееся предприятие газовой отрасли, естественный монополист по производству газообразного и жидкого гелия, крупный производитель этана и жидкой углеводородной продукции, извлекаемых из природного газа Оренбургского и Карачаганакского нефтегазоконденсатных месторождений (НГКМ). Расширение ассортимента и улучшение качества продукции на сегодняшний день находятся в центре внимания сотрудников предприятия.

**Molchanov S.A.**, Ph. D. in Engineering Science, Gazprom добыча Orenburg LLC (Orenburg, RF)  
**Bryukhov A.A.**, Gazprom добыча Orenburg LLC  
**Isaev A.V.**, Gazprom добыча Orenburg LLC  
**Zhirova E.A.**, Ph. D. in Chemical Science, Gazprom добыча Orenburg LLC, gz@gdo.gazprom.ru  
**Medvedev D.A.**, Salavat Catalytic Factory LLC (Salavat, Republic of Bashkortostan, RF), mail@skatz.ru  
**Rubanov A.E.**, Ph. D. in Chemical Science, Salavat Catalytic Factory LLC  
**Zotov P.A.**, Salavat Catalytic Factory LLC

### Selecting and testing adsorbents for the production of liquefied hydrocarbon gases in accordance with the requirements of european standards

The article describes the experience of bringing the quality of liquefied hydrocarbon gases (LHG) produced at the helium plant (HP) of Gazprom добыча Orenburg LLC into accord with the requirements of EN 589 standard [1]. Pilot tests of Selexsorb COS adsorbent (produced by BASF) allowed producing technical propane butane (TPB) with a reduced content of total sulfur. In cooperation with the HP's experts and based upon the experience and analysis of work of a broad fraction of light hydrocarbons (BFLH) treatment unit powered by Selexsorb COS adsorbent, Salavat Catalytic Factory developed and mastered the production of a new adsorbent – Alusorb COS. Pilot tests of Alusorb COS adsorbent were carried out in comparison with as Selexsorb COS adsorbent in 2015–2016. The test result analysis showed that both adsorbents provide an almost similar level when it comes to cleaning BFLH of total sulfur and COS. TPB's blowdown, which complies with the requirements of EN 589, increased from 30 % to 65 %. The BFLH treatment division completely shifted to the adsorbent of the domestic manufacturer. After the creation of a LHG treatment division in 2018–2019, the highest possible quality of produced TBH, which will comply with EN 589 standard, will be guaranteed with domestic sorbents in use.

**KEY WORDS:** BFLH, LHG, TBH, EN 589, SULFUR COMPOUND TREATMENT, TOTAL SULFUR CONTENT, SORBENTS, SELEXSORB COS, ALUSORB COS.



Рис. 1. Установка по производству СУГ

На пяти гелиевых блоках завода ежегодно перерабатывается 15 млрд м<sup>3</sup> сырьевого газа. Продукты переработки – гелий высокой чистоты, этановая фракция и ШФЛУ [2]. При дальнейшем разделении ШФЛУ на установке очистки и фракционирования (рис. 1) вырабатывается следующая продукция:

- пропан технический (ПТ) в соответствии с требованиями ГОСТ 20448–90 и ГОСТ Р 52087–2003 [3, 4];

- бутан технический (БТ) в соответствии с требованиями ГОСТ 20448–90 и ГОСТ Р 52087–2003;
- пропан–бутан технический (ПБТ) в соответствии с требованиями ГОСТ 20448–90 и ГОСТ Р 52087–2003;
- фракция бутановая (ФБ) в соответствии с требованиями ТУ 0272–533–04864476–2009 [5];
- фракция пентан–гексановая в соответствии с требованиями ТУ 51–525–98 [6];

- фракция углеводородная в соответствии с требованиями ТУ 0272–078–00151638–2016 [7].

Вся продукция «с запасом» соответствует требованиям нормативной документации и востребована на рынке.

География сбыта СУГ обширна. Кроме Российской Федерации СУГ (в размере 1/3 от общего объема производства) экспортируется в европейские страны.

В связи с необходимостью расширения рынка сбыта и перспективностью экспортных поставок СУГ производства ООО «Газпром добыча Оренбург», а также позиционированием продукции в соответствии с европейскими нормами ПАО «Газпром» поставило перед Обществом задачу обеспечить соответствие вырабатываемых на предприятии СУГ нормам, установленным европейским стандартом EN 589 «Топливо для двигателей внутреннего сгорания. Сжиженный нефтяной газ. Требования и методы испытаний».

ПБТ производства ГЗ удовлетворяет требованиям EN 589, за исключением показателя «Содержание общей серы» (табл. 1, 2).

Таблица 1. Требования к качеству СУГ по ГОСТ Р 52087–2003

Наименование определяемых показателей	Норма для марки ПБТ	Метод испытания
Массовая доля компонентов, %: • сумма метана, этана и этилена • сумма пропана и пропилена, не менее • сумма бутанов и бутиленов, не более	Не нормируется Не нормируется 60	ГОСТ 10679
Объемная доля жидкого остатка при 20 °С, не более	1,6	п. 8.2 ГОСТ Р 52087
Давление насыщенных паров, избыточное, МПа, при температуре 45 °С, не более	1,6	ГОСТ Р 50994 или ГОСТ 28656
Массовая доля сероводорода и меркаптановой серы, %, не более • в том числе сероводорода, не более	0,013 0,003	ГОСТ 22985 или ГОСТ Р 50802
Содержание свободной воды и щелочи	Отсутствие	п. 8.2 ГОСТ Р 52087
Интенсивность запаха, баллы, не менее	3	ГОСТ 22387.5 или п. 8.3 ГОСТ Р 52087

Таблица 2. Требования к качеству СУГ по EN 589

Наименование определяемых параметров	Норма	Методы испытаний
Октановое число, не менее	89	Приложение В
Молярная доля диенов (включая 1,3-бутадиен), %, не более	0,5	EN 27941
Содержание сероводорода	Отсутствие	EN ISO 8819
Общее содержание серы (после одорирования), мг/кг, не более	50	EN 24260, ASTM D 3246, ASTM D 6667
Коррозия медной пластинки (1 ч при 40 °С), класс по шкале	Класс 1	EN ISO 6251
Остаток после выпаривания, мг/кг, не более	60	EN 15470, EN 15471
Давление насыщенных паров, избыточное, при 40 °С, кПа, не более	1550	EN ISO 4256, EN ISO 8973 и Приложение С EN 589
Давление насыщенных паров, избыточное, не менее 150 кПа при температуре, °С • сорт А • сорт В • сорт С • сорт D • сорт E	-10 -5 0 10 20	EN ISO 8973 и Приложение С EN 589
Содержание свободной воды	Выдерживает испытание	EN 15469
Запах	Неприятный и характерный при концентрации в воздухе 20 % от нижнего предела воспламеняемости	п. 6.3 EN 589 и Приложение А

Проведенные исследования с привлечением ОАО «Волжский научно-исследовательский институт углеводородного сырья» (ВНИИУС, г. Казань) показали, что кроме меркаптановой серы и следовых концентраций сероводорода ПБТ ГЗ содержит в своем составе серооксид углерода в количестве до 90 ppm (90·10<sup>-4</sup> % масс.) по общей сере.

Для решения задачи по доведению качества ПБТ до требований EN 589 была раз-

работана Программа организационно-технических мероприятий, включающая подбор и испытание эффективных селективных адсорбентов, технические решения по отделению очистки ШФЛУ, дооснащение лаборатории ГЗ необходимым оборудованием и др.

Разработанные ОАО «ВНИИУС» технические решения (цеолит марки Selexsorb COS) и рекомендации («Технологический регламент на проектирование

установки по очистке пропана от сернистых соединений на ге-лиевом заводе», разработанный ОАО «ВНИИУС») учитывали перспективы ужесточения требований европейского стандарта EN 589 по содержанию общей серы до 10 ppm (10<sup>-3</sup> % масс.)

На первом этапе была рекомендована дозагрузка существующих адсорберов установки производства СУГ более эффективным адсорбентом в целях очистки ШФЛУ от COS.



## РЕШЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ГРУППЫ «ТЕГАС» ДЛЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

АЗОТ

ДОБЫЧА

Повышение  
теплоотдачи  
пласта

Капитальный  
ремонт  
скважин

Консервация  
скважин



МОДУЛЬНЫЕ  
АЗОТНЫЕ  
СТАНЦИИ

ПЕРЕРАБОТКА

Мембранная  
осушка  
природного  
газа

Подготовка  
углеводородных  
газов

Компримирование  
воздуха  
и газов



ЦЕХОВОЕ  
И МОДУЛЬНОЕ  
КОМПРЕССОРНОЕ  
ОБОРУДОВАНИЕ

ТРУБОПРОВОДНЫЙ  
ТРАНСПОРТ

Опрессовка  
трубопроводов  
азотом

Продувка  
трубопровода

Инертизация  
трубопроводов  
и емкостей



ПЕРЕДВИЖНЫЕ  
АЗОТНЫЕ  
СТАНЦИИ

ВОЗДУХ

АВТОМОБИЛЬНЫЙ  
ТРАНСПОРТ

Заправка газом  
на предприятиях

Заправка газом  
на удаленных  
объектах

Заправка  
на время ремонта  
основной АГНКС



МОБИЛЬНЫЕ  
И СТАЦИОНАРНЫЕ  
АГНКС

МЕТАН

ПНГ

[www.tegas.ru](http://www.tegas.ru)

8 800 777 09 09

[info@tegas.ru](mailto:info@tegas.ru)

Известно, что в мировой практике для очистки СУГ от серооксида углерода используется адсорбент – модифицированный оксид алюминия. Наиболее распространенная марка – Selexsorb COS, выпускаемая в промышленном масштабе компанией BASF (Германия). Для снижения содержания общей серы в отделении очистки ШФЛУ ГЗ была осуществлена перезагрузка существующих адсорберов, и использующийся адсорбент был частично заменен на адсорбент марки Selexsorb COS. Следует заметить, что в ШФЛУ, поступающей на блок очистки от сернистых соединений, содержатся следовые количества меркаптанов, поэтому для достижения требуемой степени очистки ОАО «ВНИИУС» рекомендовало провести комбинированную (двухслойную) загрузку: широко использующийся на ГЗ цеолит NaX [8] – для адсорбции меркаптановой серы и сероводорода; адсорбент Selexsorb COS – для удаления серооксида углерода.

В 2008 г. были начаты опытно-промышленные испытания адсорбента Selexsorb COS на установке производства сжиженных газов ГЗ в целях обеспечения выпуска СУГ, соответствующих требованиям международных стандартов.

С момента начала работ по организации выпуска в ООО «Газпром добыча Оренбург» сжиженных газов, соответствующих нормам европейского стандарта EN 589, параллельно велись работы по оснащению лаборатории ГЗ, осуществляющей анализ сжиженных газов, новым современным оборудованием. Работы по оснащению лабораторий и освоению персоналом методов анализа СУГ по EN 589 были завершены весной 2009 г. Это позволило выполнять контроль качества СУГ по всем показателям, приведенным в европейском стандарте (октановое число, компонентный состав, включая определение диеновых углеводородов, содержание серо-



Рис. 2. Анализ СУГ по EN 589

водорода и общей серы, давление насыщенных паров, коррозия на медной пластине, остаток после выпаривания и др.). Тогда же лаборатория ООО «Газпром добыча Оренбург» была аккредитована на техническую компетентность выполнения анализов по показателям и методам испытаний, указанным в EN 589 (рис. 2).

В ходе проведения опытно-промышленных испытаний было установлено, что содержание сернистых соединений в сырье, поступающем на очистку, нестабильно и колеблется в широких пределах. Так, по данным лабораторных анализов, выполненных специалистами центральной заводской лаборатории ГЗ и ОАО «ВНИИУС», содержание общей серы в ШФЛУ, поступающей на очистку, колебалось в пределах 100–250 ppm ( $100 \cdot 10^{-4}$ – $250 \cdot 10^{-4}$  % масс.). Ввиду того что производительность существующих адсорберов установки очистки ШФЛУ от сернистых соединений не позволяет осуществлять тонкую очистку ШФЛУ последовательно в двух адсорберах, заполненных соответствующими адсорбентами, была осуществлена двухслойная загрузка адсорбентов Selexsorb COS и NaX.

Очистка ШФЛУ осуществляется по четырехадсорберной схеме,

при которой два адсорбера используются для очистки, третий находится на регенерации, четвертый – на охлаждении.

Поток ШФЛУ проходит параллельно через два адсорбера, где последовательно очищается от сероводорода, меркаптановой серы на цеолите NaX (нижний слой). После этого более тонкая очистка от серооксида углерода осуществляется на адсорбенте Selexsorb COS (верхний слой). Очищенная ШФЛУ выводится на фракционирование.

Опытно-промышленные испытания по очистке ШФЛУ от сернистых соединений с применением адсорбентов NaX и Selexsorb COS проводились при различных соотношениях материалов, загружаемых в адсорберы. Опробована работа отделения очистки ШФЛУ по циклограммам 24:12:12 (адсорбция: регенерация: охлаждение) и 16:8:8.

Достигнутая степень очистки ШФЛУ позволила вырабатывать ПБТ с пониженным содержанием общей серы. Уже в 2009 г. ГЗ приступил к паспортизации ПБТ в соответствии с требованиями EN 589. Мониторинг качества ПБТ в вагон-цистернах с мая 2009 г. по апрель 2011 г. показал, что в среднем треть проанализированных цистерн содержит продукт,

Таблица 3. Результаты испытаний проб адсорбентов (институт ООО «ВолгоУралНИПИгаз»)

Наименование показателя	Alusorb COS		Selexsorb COS
	Партия 19	Партия 20	
Массовая доля водостойкости, %	99,14	98,92	99,34
Динамическая емкость по парам воды, мг/см <sup>3</sup>	219,26	218,83	195,11
Динамическая емкость по углекислому газу, мг/см <sup>3</sup>	16,16	15,49	15,87
Динамическая емкость по парам меркаптанов, мг/см <sup>3</sup>	101,2	89,35	79,59
Массовая доля потерь при прокаливании, %	5,38	4,07	13,94
Прочность при истирании, %	88,9	87,92	89,11

соответствующий требованиям EN 589.

Однако опробованные схемы загрузки и режимы работы отделения очистки ШФЛУ не могут полностью гарантировать требуемое качество СУГ. Причина – недостаточный физический объем адсорбента Selexsorb COS, применяемый при комбинированной загрузке. Единственно возможным решением проблемы является раздельная очистка ШФЛУ в существующем отделении и очистка СУГ (ПБТ или ПТ) на вновь созданном аналогичном отделении на адсорбенте, селективном по отношению к серооксиду углерода.

Строительство данного объекта включено в Программу реконструкции и технического перевооружения, в 2017 г. закончена разработка проектной документации.

Тем не менее, с учетом положительных результатов по улучшению качества ПБТ, комбинированная загрузка адсорбентов в отделении очистки ШФЛУ продолжает применяться и в настоящее время.

С 2011 по 2014 г. по заданию и при непосредственном участии специалистов ГЗ на основании опыта и анализа работы установки очистки ШФЛУ на адсорбенте Selexsorb COS Салаватский катализаторный завод (СКАТЗ) разработал рецептуру, технологию и освоил производство нового адсорбента – Alusorb COS [9], селективного по отношению к серооксиду углерода. Работа проведена

в рамках реализации проекта по созданию адсорбентов для всей технологической цепочки процессов очистки и переработки газа.

Адсорбент Alusorb COS – модифицированный металлами оксид алюминия с развитой поверхностью – представляет собой гранулы сферической формы и обладает уникальной комбинацией основных и слабых кислотных центров, равномерно распределенных по объему материала. Новые свойства поверхности оксида алюминия позволили существенно повысить емкость адсорбента по кислым газам: углекислому газу, сероводороду, меркаптанам, другим соединениям серы, а также добиться уникального свойства – способности адсорбировать серооксид углерода (COS). Лабораторные испытания показали, что носитель с COS может взаимодействовать несколькими путями: в присутствии паров воды в эквимольных концентрациях или адсорбированной на поверхности материала даже при температуре 20 °С происходит превращение COS с образованием углекисло-го газа и сероводорода, которые также адсорбируются и удерживаются поверхностью Alusorb COS. Однако в отсутствие воды в адсорбенте и газе, поступающем на очистку, COS адсорбируется без дальнейшего разложения, и удаление происходит при проведении цикла регенерации. В ряду соединений серы и углерода серооксид обладает минимальной силой связывания с поверхно-

стью, поэтому, чтобы исключить конкурентную адсорбцию, необходимо располагать слой селективной очистки последним по ходу потока газа.

Особенности пористой структуры Alusorb COS с оптимизированным распределением пор по размеру (средний размер пор – 6,4 нм, или 64Å; у NaX – 9Å) позволяют наиболее эффективно проводить регенерацию и сохранять высокую адсорбционную способность весь срок службы.

В 2015 г. специалисты ООО «Газпром ВНИИГАЗ» исследовали образцы адсорбентов Selexsorb COS производства BASF SE, Alusorb COS производства ООО «Салаватский катализаторный завод», RS-400 COS производства ООО «Верхневолжский катализаторный завод «РЕАЛ СОРБ» на пилотной установке в условиях, приближенных к условиям промышленной эксплуатации: на «реальном» газе с введением дополнительного объема CO<sub>2</sub> известной концентрации под давлением 5,0 МПа. Испытания показали, что адсорбент Alusorb COS является наиболее близким аналогом адсорбента Selexsorb COS и может быть рекомендован к опытно-промышленному использованию на установке № 26 Гелиевого завода ООО «Газпром добыча Оренбург».

На основании заключения ООО «Газпром ВНИИГАЗ» и информации о невозможности поставки в 2015 г. адсорбента Selexsorb COS была разработана Программа

опытно-промышленных испытаний (ОПИ) адсорбента Alusorb COS. Во время плановой перегрузки адсорберов отделения очистки ШФЛУ осенью 2015 г. была осуществлена схема загрузки, позволяющая провести сравнительный анализ работы двух адсорбентов – Alusorb COS и Selexsorb COS. Нижний слой во всех адсорберах – NaX в количестве 16 т – для очистки ШФЛУ от сероводорода и меркаптановой серы; верхний слой – в 1-м и 4-м адсорберах – Alusorb COS (9 т), во 2-м – Selexsorb COS (10 т), в 3-м адсорбере – остатки Selexsorb COS и Alusorb COS.

При одновременной работе адсорберов 1 и 4 можно проанализировать работу отделения очистки в целом по сравнению с 2014 г., когда во всех адсорберах использовались адсорбенты Selexsorb COS + NaX.

Сравнительный анализ работы сорбентов можно также провести в адсорберах 1 и 2.

Лабораторные испытания адсорбентов Selexsorb COS и Alusorb COS (входной контроль) провел институт ООО «ВолгоУралНИПИ-газ». В табл. 3 приведены наиболее важные показатели. Видно, что они достаточно близки, а по динамической емкости по парам меркаптанов Alusorb COS несколько превосходит Selexsorb COS.

В 2015–2016 гг. выполнено пять этапов ОПИ: октябрь – ноябрь 2015 г.; январь 2016 г.; март 2016 г.; июль 2016 г.; август 2016 г.

Исследовалась очистка ШФЛУ как в отдельных адсорберах, так и в отделении в целом, что позволило судить о работе адсорбентов.

На каждом этапе проводился мониторинг содержания сернистых соединений ( $H_2S$ , RSH, COS,  $S_{общ.}$ ) в ШФЛУ до и после очистки каждые 6 ч в течение 6 сут работы по циклограмме 24:12:12. Накоплена большая база данных. Оценка работы адсорбентов выражена в степени очистки ШФЛУ (средняя разность концентраций на выходе и входе к средней входной концентрации, %).

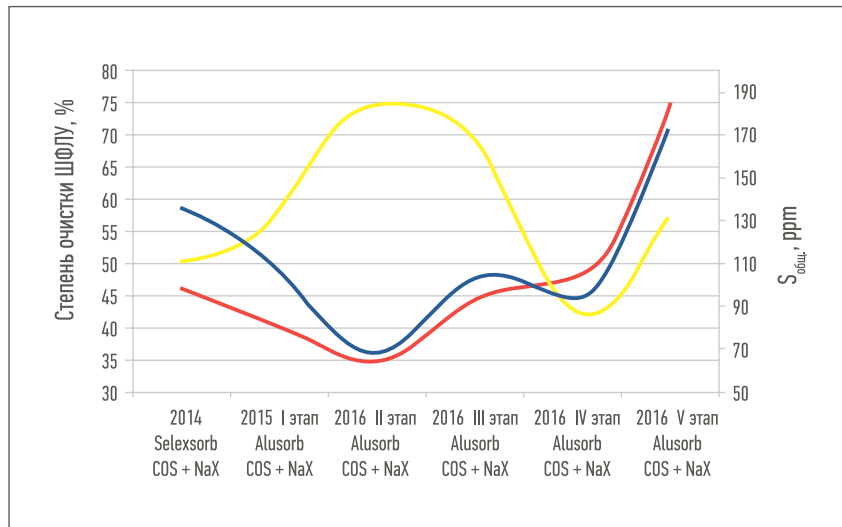


Рис. 3. Степень очистки ШФЛУ в отд. У550: красная кривая – очистка по  $S_{общ.}$ , %; желтая кривая – очистка по COS, %; зеленая кривая – содержание  $S_{общ.}$  в неочищенной ШФЛУ, ppm ( $10^{-4}$  % масс.)

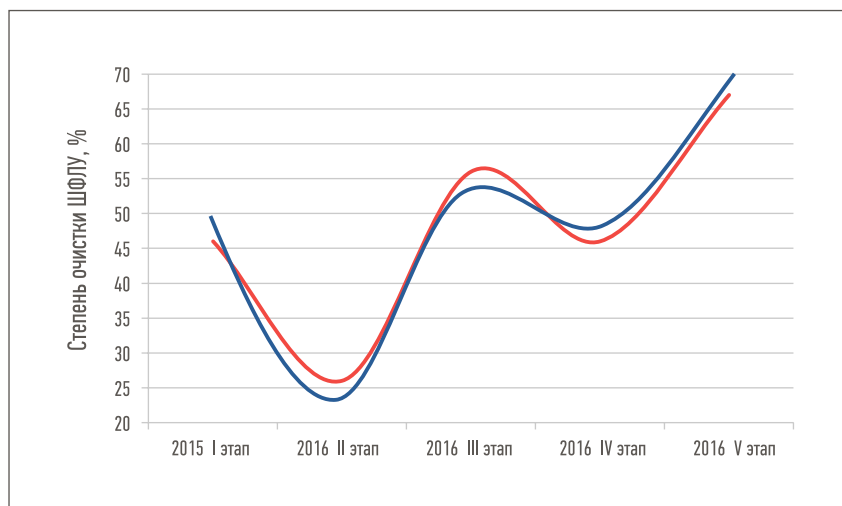


Рис. 4. Степень очистки ШФЛУ по  $S_{общ.}$ : красная кривая – Selexsorb; синяя кривая – Alusorb

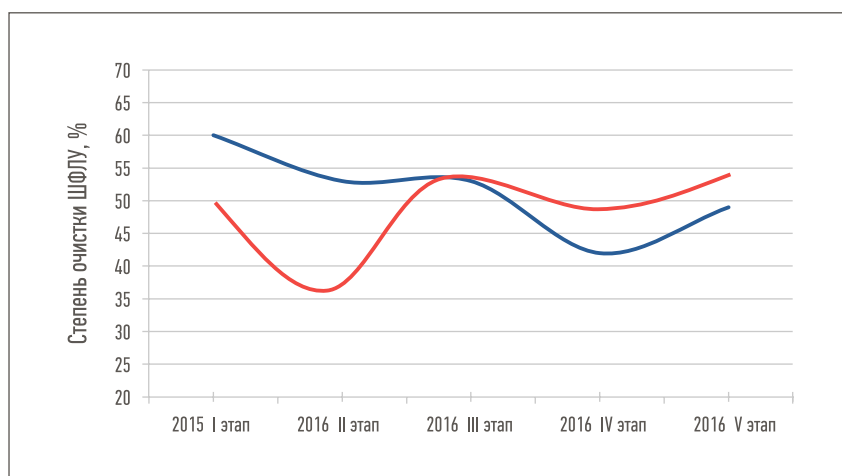


Рис. 5. Степень очистки ШФЛУ по COS: красная кривая – Selexsorb; синяя кривая – Alusorb

# ТРЭМ Инжиниринг

эффективная основа

Компания «ТРЭМ Инжиниринг» является ведущим производителем торцевых (механических) уплотнений для насосов для нефтегазовой, химической, энергетической и других отраслей промышленности

ЗАО «ТРЭМ Инжиниринг» разрабатывает и производит:

## ● ТОРЦЕВЫЕ УПЛОТНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ:

одинарные, двойные, патронные, компонентные, со сварными металлическими сильфонами, с резиновыми сильфонами, многопружинные, для высоких давлений, бесконтактные, сухие газодинамические и др.

## ● СИСТЕМЫ ОБВЯЗКИ ТОРЦОВЫХ УПЛОТНЕНИЙ:

бабки, теплообменники, системы пополнения и циркуляции барьерной жидкости, панели управления и др.

В проектировании и производстве используются современные технологии:

- компьютерные моделирования методом конечных элементов (FEA),
- сварка и термообработка металлических сильфонов,
- лазерное нанесение канавок,
- специальные покрытия, в том числе DLC-покрытия.

[www.tremseals.com](http://www.tremseals.com)



Таблица 4. Изменение показателей отработавших адсорбентов (институт ООО «ВолгоУралНИПИгаз»)

Наименование показателя	Отработавший адсорбент Alusorb COS	Отработавший адсорбент Selexsorb COS
Механическая прочность на раздавливание, кг/мм <sup>2</sup>	Уменьшилась на 25,16 %	Уменьшилась на 8,96 %
Массовая доля водостойкости, %	Показатель не изменился	Показатель не изменился
Динамическая емкость по парам воды, мг/см <sup>3</sup>	Уменьшилась на 11,41 %	Уменьшилась на 32,59 %
Динамическая емкость по углекислому газу, мг/см <sup>3</sup>	Уменьшилась на 81,22 %	Уменьшилась на 80,09 %
Динамическая емкость по парам меркаптанов, мг/см <sup>3</sup>	Уменьшилась на 18,60 %	Уменьшилась на 22,31 %

На рис. 3 показана степень очистки ШФЛУ от примесей в отделении в целом в декабре 2014 г. – с использованием Selexsorb COS (на 2-м мес эксплуатации), в 2015–2016 гг. – с использованием Alusorb COS. Здесь же показано содержание общей серы ( $10^{-6}$ ) в ШФЛУ на входе в отделение. Видно, что степень очистки сильно зависит от этого показателя, а во время ОПИ ШФЛУ была сильнее загрязнена примесями серы, чем в 2014 г.

На рис. 4 и 5 представлена степень очистки ШФЛУ на адсорбентах Selexsorb COS и Alusorb COS в 2015–2016 гг. от примесей  $S_{\text{общ}}$  и COS, соответственно. Изменение степени очистки также коррелирует с концентрацией примесей в ШФЛУ.

Анализ результатов показал, что оба адсорбента обеспечивают

практически одинаковый уровень очистки от общей серы и серооксида углерода.

После года эксплуатации были отобраны и проанализированы пробы обоих сорбентов на изменение показателей в сравнении со свежим адсорбентом (табл. 4). Основные показатели емкости по извлекаемым компонентам существенно снизились, произошло закоксовывание материалов, адсорбенты подлежат замене.

При плановой перегрузке отделения очистки ШФЛУ в 2016 г. все адсорберы были загружены цеолитом NaX (нижний слой) – 15 т и адсорбентом Alusorb COS (верхний слой) – 9 т. Во время эксплуатации постоянно ведется мониторинг качества очистки и вырабатываемой ПБТ.

В настоящее время благодаря проведенной оптимизации загрузки адсорбционной системы выработка продукта ПБТ, соответствующего требованиям EN 589, увеличилась с 30 до 65 % по содержанию  $S_{\text{общ}}$  и до 100 % – по методу «коррозия медной пластинки».

Испытания сорбентов Selexsorb COS и Alusorb COS в лабораторных и промышленных условиях показали, что отечественный продукт не уступает импортному. Использование комплексной загрузки позволило существенно увеличить глубину очистки сырья.

Гарантированное качество 100 % вырабатываемого продукта ПБТ по европейским стандартам будет обеспечено после создания отделения очистки СУГ в 2018–2019 гг. ■

#### ЛИТЕРАТУРА

1. EN 589:2004. Топливо для двигателей внутреннего сгорания. Сжиженный нефтяной газ. Требования и методы испытаний.
2. ТУ 38.101524–2015. Фракция широкая легких углеводородов.
3. ГОСТ 20448–90. Газы углеводородные сжиженные топливные для коммунально-бытового потребления. Технические условия (с изм. 1, 2 и с поправкой) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200004726> (дата обращения: 10.09.2017).
4. ГОСТ Р 52087–2003. Газы углеводородные сжиженные топливные [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://files.stroyinf.ru/Data1/40/40662/> (дата обращения: 19.09.2017).
5. ТУ 0272–533–04864476–2009. Фракция бутановая (с изм. 1–4).
6. ТУ 51–525–98. Фракция пентан–гексановая (с изм. 1–3).
7. ТУ 0272–078–00151638–2016. Фракция углеводородная. Технические условия.
8. ТУ 2163–077–05766575–99. Синтетические цеолиты типа NaX (с изм. 1–7).
9. СТО 61172334–023–2014. Адсорбент Alusorb COS.

#### REFERENCES

1. EN 589:2004. Automotive Fuels – Liquefied Petroleum Gas – Requirements and Test Methods. (In Russian)
2. ТУ 38.101524–2015. Broad Fraction of Light Hydrocarbons. (In Russian)
3. ГОСТ 20448–90. Liquefied Hydrocarbon Fuel Gases for Household Use. Technical Conditions (as revised 1, 2 and amended) [Electronic source]. Access mode: <http://docs.cntd.ru/document/1200004726> (Access date: September 10, 2017). (In Russian)
4. ГОСТ Р 52087–2003. Liquefied Hydrocarbon Fuel Gases [Electronic source]. Access mode: <http://files.stroyinf.ru/Data1/40/40662/> (Access date: 19.09.2017). (In Russian)
5. ТУ 0272–533–04864476–2009. Butane Fraction (as amended 1–4). (In Russian)
6. ТУ 51–525–98. Pentane–Hexane Fraction (as amended 1–3). (In Russian)
7. ТУ 0272–078–00151638–2016. Hydrocarbon Fraction. Technical Conditions. (In Russian)
8. ТУ 2163–077–05766575–99. Synthetic Zeolite, NaX Type (as amended 1–7). (In Russian)
9. СТО 61172334–023–2014. Alusorb COS Adsorbent. (In Russian)