

Научно-технический журнал
«НАУКА И ТЕХНИКА
В ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»
издается с 1999 г.

Учредитель



ООО «Газпром проектирование»

Включен в перечень ВАК
Министерства образования и науки РФ
ведущих рецензируемых научных журналов
и изданий, в которых должны быть
опубликованы основные научные результаты
диссертации на соискание ученой степени
доктора и кандидата наук
(1.6.11, 2.8.2, 2.8.4, 2.8.5, 1.5.15, 2.4.7)

Главный редактор

Заместитель Председателя Правления –
начальник Департамента ПАО «Газпром»,
член-корреспондент РАН,
доктор технических наук

О.Е. Аксютин

НАД НОМЕРОМ РАБОТАЛИ

Ответственный редактор
Е.Д. Нащокина

Редактор
Н.В. Воронкова

**Оформление
и компьютерная верстка**
Д.А. Буров

Перевод, корректура
О.Б. Королева

191036, г. Санкт-Петербург,
Суворовский пр. 16/13
ООО «Газпром проектирование»
Тел.: (812) 578-79-97,
E-mail: enaschekina@proektirovanie.gazprom.ru
[https://наука-и-техника.
газпромпроектирование.рф/](https://наука-и-техника.газпромпроектирование.рф/)

Журнал зарегистрирован
в Федеральной службе
по надзору в сфере связи,
информационных технологий
и массовых коммуникаций
от 17.10.2017 ПИ № ФС77-71364

Подписано в печать 21.02.2023
Уч.-изд. л. 12,0
Тираж 300 экз.

Подписной индекс
по объединенному каталогу
«Пресса России» 39919
Выходит 4 раза в год
Составление, оформление
ООО «Газпром проектирование», 2023
Отпечатано в ООО «ТПС Медиа»

Цена свободная

Перепечатка материалов
или их фрагментов, все виды
копирования и воспроизведения
возможны только с письменного
разрешения редакции.
Ссылка на научно-технический
журнал «Наука и техника в газовой
промышленности» обязательна

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

Л.А. Абукова, д.г.-м.н.
Р.В. Агиней, д.т.н., профессор
Д.Г. Антониади, д.т.н., профессор
В.А. Вагарин, к.ф.-м.н.
Ю.В. Галышев, д.т.н.
А.И. Гриценко, д.т.н., чл. – корр. РАН
А.Н. Дмитриевский, д.г.-м.н., академик РАН
О.М. Ермилов, д.т.н., академик РАН
А.И. Ермолаев, д.т.н., профессор

А.Г. Ишков, д.х.н., профессор
В.Н. Маслов, д.т.н.
А.С. Оганов, д.т.н., профессор
В.А. Рассохин, д.т.н.
В.В. Рыбальченко, к.г.-м.н.
Е.А. Спиридович, д.т.н., с.н.с.
Г.А. Фокин, д.т.н.
З.З. Шарафутдинов, д.т.н.
Л.В. Эдер, д.э.н., профессор

СОДЕРЖАНИЕ

№ 1, 2023

**Тема номера:
Освоение газовых
месторождений России**



Main Topic: Russian Gas Fields Development

ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ NATURAL GAS FIELDS: GEOLOGY, PROSPECTING AND EXPLORATION

- 3 **Рябухин А.Д.**
О влиянии термобарических факторов на остаточную
водонасыщенность горных пород

СТРОИТЕЛЬСТВО СКВАЖИН WELLS CONSTRUCTION

- 9 **Сопильняк О.С., Шандрыгин А.Н., Крайн Д.Р.,
Ершов А.С., Ветчинина Ю.Д.**
Влияние бурового раствора на углеводородной основе на
представительность проб пластового газа, отобранных по
технологии ГДК-ОПК
- 22 **Торяня Р.А., Меретуков М.А.**
Анализ характера поглощений при бурении скважин
Низовского месторождения Самарской области

РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ДОБЫЧА УГЛЕВОДОРОДОВ FIELDS DEVELOPMENT AND HYDROCARBON PRODUCTION

- 30 **Меньшиков С.Н., Байдин И.И., Ильин А.В.,
Эльберт И.П., Ермилов О.М.**
К вопросу об оптимальном месте установки и конструкции
образцов-свидетелей для эффективного контроля
углекислотной коррозии газопромыслового оборудования
- 36 **Шандрыгин А.Н., Николаев О.В., Гужов К.Н.,
Стоноженко И.В., Байбурун Р.А.,**
Влияние обводнения на эффективность эксплуатации
горизонтальных скважин

- 44 **Николаев О.В., Плосков А.А., Стоноженко И.В., Васильев В.Г., Соломахин А.В.**
Современные методы расчета технологического режима работы газовых скважин с водопроявлениями
- 60 **Хисматулин Р.Р., Воронков Д.И.**
Оценка возможности использования параметра влагосодержания природного газа, как критерия при определении типа природы добываемой воды, а так же условия ее выноса с забоя скважин
- 66 **Ледовский Г.Н.**
Выбор параметров интегрированной системы защиты подводной компрессорной станции от жидкостных пробок

МАГИСТРАЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ УГЛЕВОДОРОДОВ LONG-DISTANCE GAS TRANSMISSION

- 77 **Ямкин А.В., Маслов А.С., Бубенчиков М.А., Ямкин М.А.**
Использование системы акустического мониторинга для обнаружения механических воздействий на грунт в охранной зоне газопровода

ПОДЗЕМНОЕ ХРАНЕНИЕ ГАЗА UNDERGROUND GAS STORAGE

- 90 **Вержицкий В.В., Ливинцев П.Н., Лукьянов В.Т., Гунькина Т.А., Хандзель А.В. Шестерякова Р.Е.**
О всплывании газа в водоносных пластах подземных хранилищ

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ENVIRONMENT AND INDUSTRIAL SAFETY

- 99 **Николаева Л.А., Исхакова Р.Я.**
Адсорбционная очистка газовых выбросов отходом производства от оксидов азота

АВТОРЫ AUTHORS

ABSTRACTS IN ENGLISH

УДК 621.742

Николаева Л.А., Исакова Р.Я., ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»

Адсорбционная очистка газовых выбросов отходом производства от оксидов азота

Ключевые слова: адсорбционная очистка, сорбционный материал, отходы производства, газовые выбросы, утилизация тепла

В статье рассмотрены вопросы очистки газовых выбросов, образующихся при сжигании попутного нефтяного газа с применением отхода производства в качестве вторичного материального ресурса. Для этого предлагается использовать метод адсорбционной очистки уходящих газов от оксидов азота на гранулированном сорбционном материале, разработанном на основе отхода теплоэнергетики карбонатного шлама водоподготовки. По результатам исследований установлено, что предложенный сорбционный метод очистки газовых выбросов позволит решить две основные комплексные взаимосвязанные задачи: минимизировать антропогенное влияние на атмосферный воздух путем извлечения из газовых выбросов от диоксида азота, а также проводить эффективную утилизацию, переработку и повторное использование отходов энергетики.

В настоящее время защита окружающей среды от загрязняющих компонентов является актуальной задачей любой отрасли промышленности. При этом особое значение данная проблема имеет для нефтегазового комплекса как отрасли промышленности, связанной с недропользованием.

Среди проблем защиты окружающей среды наиболее актуальной является охрана воздушного и водного бассейнов, так как загрязненные воздух и вода обуславливают загрязнение всей биосферы Земли, включая почву и геологическую среду [1]. Одним из основных источников загрязнения являются газовые выбросы после сжигания попутного нефтяного газа (ПНГ) [2]. По этой причине в настоящее время одной из ключевых задач нефтегазовой промышленности является разработка технологий, которые позволяют максимально эффективно использовать ПНГ и утилизировать продукты его сжигания [2].

В настоящее время в Российской Федерации попутный нефтяной газ не имеет широкого применения в связи с удаленностью большинства объектов нефтедобычи от транспортных магистралей и газопроводов [3]. По этой причине наиболее распространенным подходом является его сжигание на факельных установках. Однако данный подход приводит не только к нецелесообразному расходованию природных углеводородных ресурсов и потере потенциальной энергии горючих веществ, но и к негативному антропогенному воздействию на атмосферный воздух.

Так, при сжигании 20 млрд м³ ПНГ на факельных установках в атмосферу поступает около 6 млн тонн загрязняющих веществ [4].

ПНГ обладает высокой теплотворной способностью (около 9000–15000 Ккал/м³), поэтому может эффективно использоваться как энергетический ресурс. По этой причине в настоящее время наиболее актуальным является вопрос разработки и внедрения новых технологий, способных решить проблему очистки газовых выбросов после сжигания ПНГ.

Целью исследования является разработка технического и технологического решений адсорбционной очистки газовых выбросов от диоксида азота при сжигании ПНГ с применением отхода производства в качестве сорбционного материала.

В работе рассматривался ПНГ, получаемый на нефтяном месторождении Черемшанского административного района Республики Татарстан, площадь которого составляет 26,62 км².

В технологической схеме (рис. 1) продукция скважин нефтяного месторождения в объеме до 252,2 тыс.т/год, обработанная деэмульгатором, поступает в нефтегазовый сепаратор НГС-1, где при избыточном давлении 0,2–0,4 МПа и температуре 3–15 °С осуществляется сепарация ПНГ.

Для отвода из НГС-1 выделившегося попутного газа на трубопроводе выхода газа установлен датчик давления, на газовой линии установлен отсечной клапан отсекающий, предохраняющий газовый коллектор от попадания нефти.

Далее разделенная водонефтяная эмульсия поступает в отстойник предварительного сброса воды О-1 объемом 100 м³. В отстойнике О-1 при температуре смеси водонефтяных эмульсий 3–15 °С происходит разделение жидкости на нефтяную и водную фракции. В случае ухудшения процесса отделения воды в отстойнике О-1 в приемный коллектор УПСВ-1 предусмотрена подача деэмульгатора. Время отстаивания эмульсий в отстойнике составляет 3 часа.

Отделенная и частично обезвоженная жидкость поступает на подогреватели нефти ПП-1 или ПП-2 марки ПНПТ-0,63, где нагревается до температуры не менее 25–45 °С.

Газ с сепаратора НГС-1 и буферной емкости БН-1 проходит в вертикальный газовый сепаратор ГС-1, где очищается от взвешенных капель жидкости и далее используется как топливо для подогревателей нефти.

Таким образом, ПНГ, компонентный состав которого представлен в табл. 1, используют в качестве топлива в путевых подогревателях нефти.

Как видно из табл. 1 преимущественным компонентом в составе ПНГ является азот, который составляет 47,22 % от всего объема.

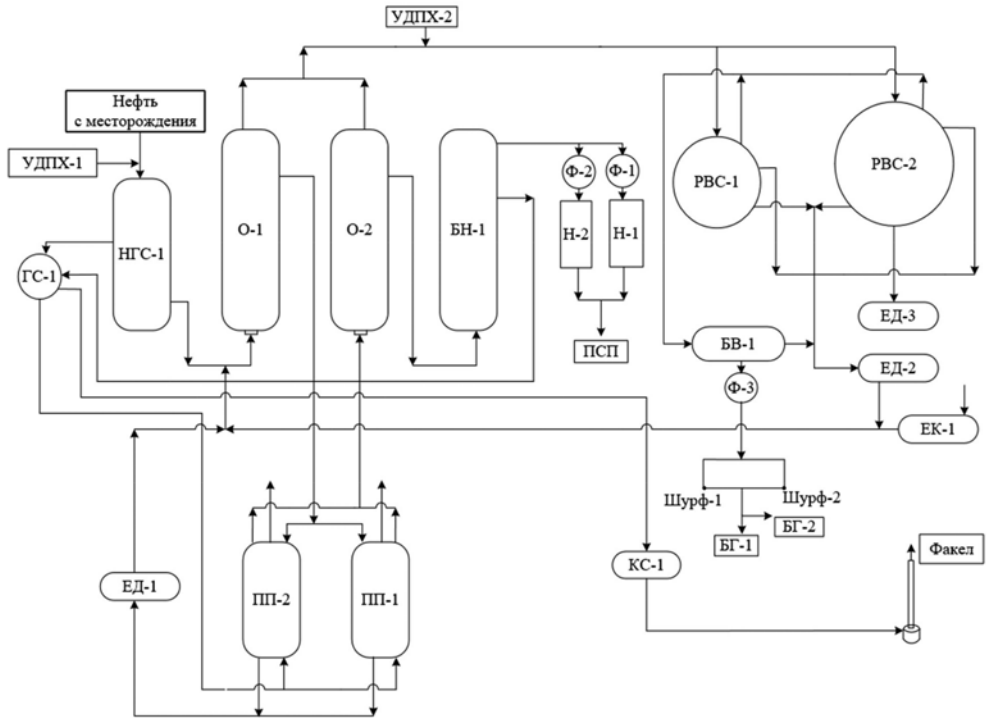
В табл. 2 представлены количественные значения газовых выбросов от сжигания ПНГ в печах и их предельно допустимые выбросы. Из табл. 2 видно, что единственным загрязняющим компонентом, значительно превышающим нормативные значения, является диоксид азота.

Для очистки газовых выбросов от NO₂ применяют различные методы: абсорбционные, адсорбционные, каталитические и пр [5]. Адсорбционная очистка газовых выбросов является перспективным методом в связи с доступностью адсорбционных материалов, простотой технологического оформления установки, невысокими капитальными и эксплуатационными издержками, возможностью очистки газа без его предварительной обработки.

В исследовании предлагается использование отхода энергетики — карбонатного шлама водоподготовки тепловых электрических станций. Ежегодно происходит увеличение объемов данного отхода, так как его образование происходит на стадии подготовки добавочной воды, используемой в цикле тепловой станции.

При использовании карбонатного шлама в качестве адсорбционного материала решаются две основные комплексные взаимосвязанные задачи: очистка газовых выбросов от диоксида азота; утилизация, переработка и повторное использование отходов энергетики.

В ранних работах [6] получен и изучен гранулированный сорбционный материал для очистки газовых выбросов от диоксида азота. В экспериментальном исследовании по сорбции оксидов азота концентрация NO_x изменялась в течение опыта в диапазоне $0\text{--}1750 \text{ мг/м}^3$.



НГС-1 – нефтегазовый сепаратор;
 О-1,2 – отстойники;
 БН-1 – буферная емкость нефти;
 РВС-1,2 – резервуар-отстойники;
 ГС-1 – газовый сепаратор;
 КС-1 – конденсатосборник;
 УДПХ-1,2 – установки дозированной подачи химреагента;

ЕД-1,2,3 – емкости подземные дренажные;
 ЕК-1 – емкости дренажные канализационные;
 БВ-1 – буферная емкость воды;
 Ф-1,2,3 – фильтры жидкостные сетчатые;
 БГ-1,2 – блоки напорной гребенки;
 ПП-1,2 – путевые подогреватели нефти;

Рис. 1. Технологическая схема процесса добычи нефти и ПНГ

Таблица 1. Компонентный состав ПНГ

Название вещества	Значение, % об.
Диоксид углерода(CO ₂)	4,6
Кислород(O ₂)	0,126
Азот(N ₂)	47,22
Этан(C ₂ H ₆)	9,812
Метан(CH ₄)	15,04
Сульфид водорода(H ₂ S)	2,701
Пропан(C ₃ H ₈)	13,46
и-бутан(i-C ₄ H ₁₀)	1,506
н-бутан(n-C ₄ H ₁₀)	3,424
и-пентан (i-C ₅ H ₁₂)	0,9335
н-пентан (n-C ₅ H ₁₂)	0,7139
н-гексан (n-C ₆ H ₁₄)	0,4667

Таблица 2. Количественные значения газовых выбросов от сжигания ПНГ

Вредное вещество	Класс опасности	Значение выброса		ПДВ	
		г/с	т/год	г/с	т/год
Азота диоксид	3	0,2302	7,2596	0,03773	1,6216
Азота оксид	3	0,0049	0,01545	0,01567	0,23992
Диоксид серы	3	0,2379	7,5024	11,1008	27,9835
Оксид углерода	4	0,00803	0,25323	1,27566	7,43619

Расход газов, приведенный к нормальным условиям, составлял $4 \times 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$. Результаты исследования сорбционных свойств шлама по отношению к оксидам азота и серы показали, что сорбционная емкость шлама реализуется в течение первых минут контакта, и через 25 мин достигает 0.8 г/г по NO_x, 80% Далее С перестает расти, что свидетельствует о наступлении сорбционного равновесия. На рис. 2 представлена зависимость сорбционной емкости материала от времени. Подобраны оптимальные условия для его изготовления: соотношение карбонатного шлама с размером частиц от 0,01 до 0,09 мм и жидкого натриевого стекла 2:1, термообработка при температуре 250 °С в течение 60 минут. Технологические характеристики полученного гранулированного сорбционного материала на основе карбонатного шлама представлены в табл. 3.

По результатам исследований целесообразно установить два параллельно соединенных адсорбера периодического действия в технологической схеме после путевых подогревателей. Конструкция адсорбера представлена на рис. 3. Рассчитанные конструктивные параметры и технологические характеристики приведены в табл. 4. Для установки адсорберов рассматривается модернизация сетчатых фильтров, которые используются для улавливания механических примесей из водонефтяных эмульсий на нефтедобывающем предприятии (рис. 4).

Для регенерации адсорбента предусмотрена кольцевая труба для подачи водяного пара.

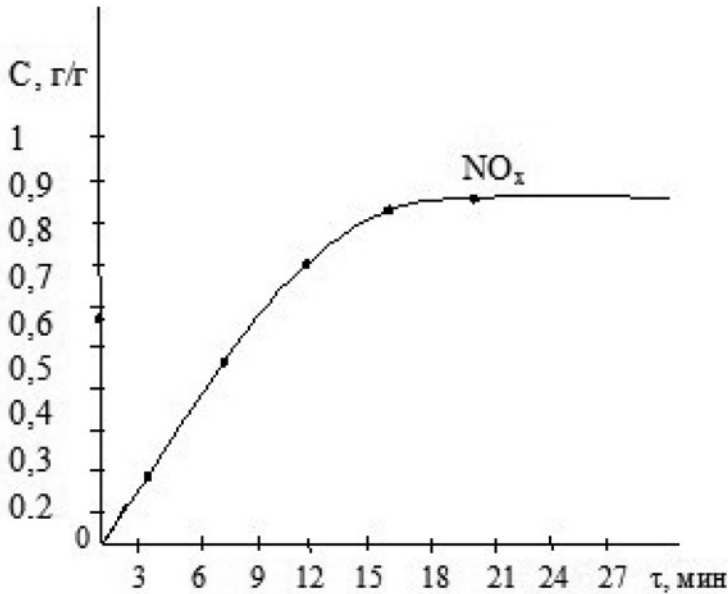


Рис. 2. В экспериментальном исследовании по сорбции оксидов азота концентрация NO_x изменялась в течение опыта в диапазоне 0–1750 мг/м^3

Таблица 3. Технологические характеристики гранулированного сорбционного материала

Параметр	Значение
Адсорбционная емкость по NO_2 , г/г	1,3
Диаметр зерен, мм	1,5-2,8
Суммарный объем пор, $\text{см}^3/\text{г}$	0,8
Насыпная плотность, кг/м^3	450,0
Удельная поверхность, $\text{м}^2/\text{г}$	90
Удельный свободный объем	0,475

Таблица 4. Технологические характеристики предлагаемого адсорбера

Параметр	Значение
Объемный расход газа на входе в адсорбер, $\text{м}^3/\text{ч}$	923,0
Температура процесса, $^{\circ}\text{C}$	40,0
Высота слоя сорбционного материала, м	0,82
Диаметр, м	0,4
Количество сорбционного материала на одну загрузку, кг	53,56
Продолжительность адсорбции, ч	105,9
Продолжительность регенерации, ч	2,0
Перепад давления насыпного слоя, Па	4,64

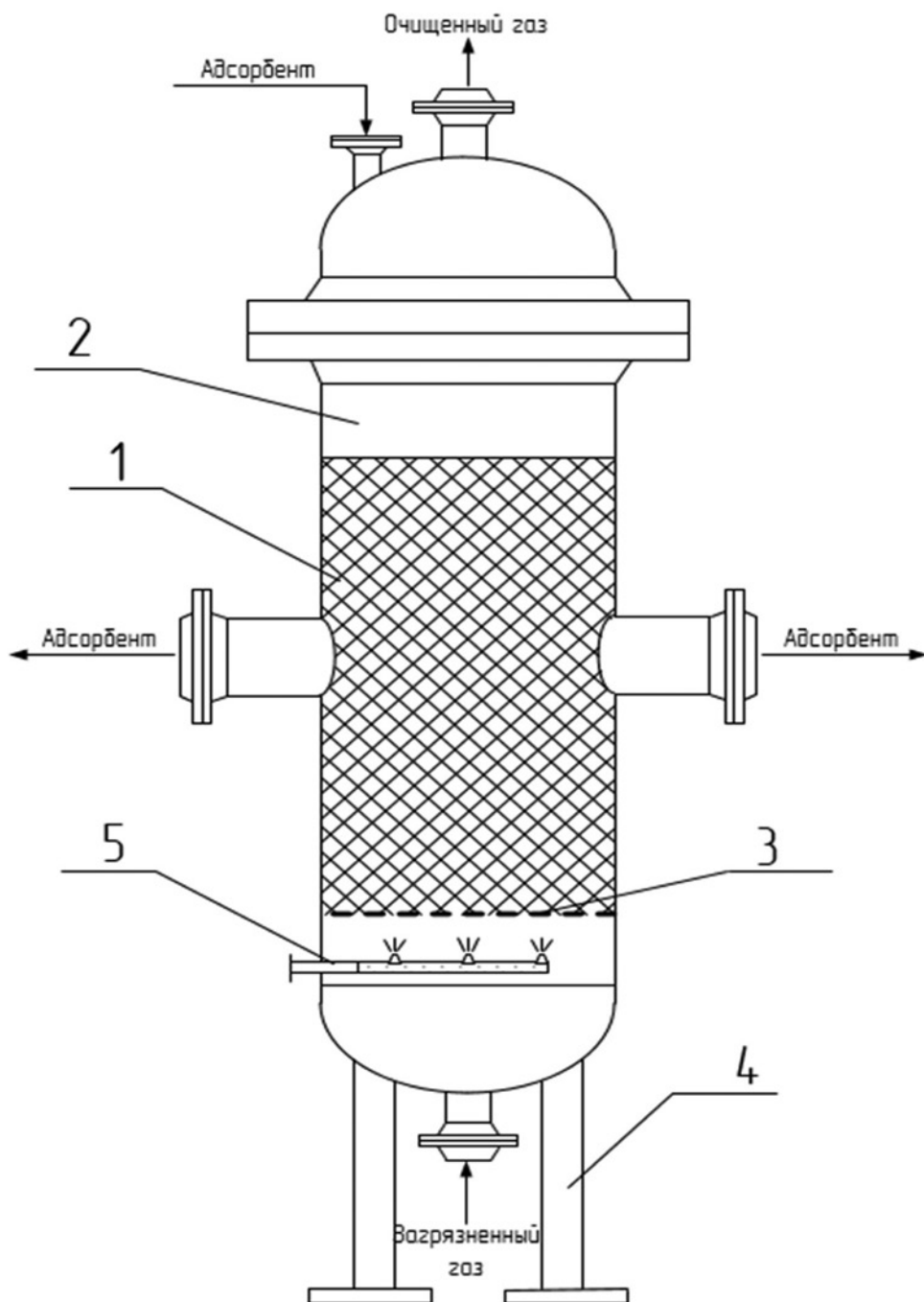
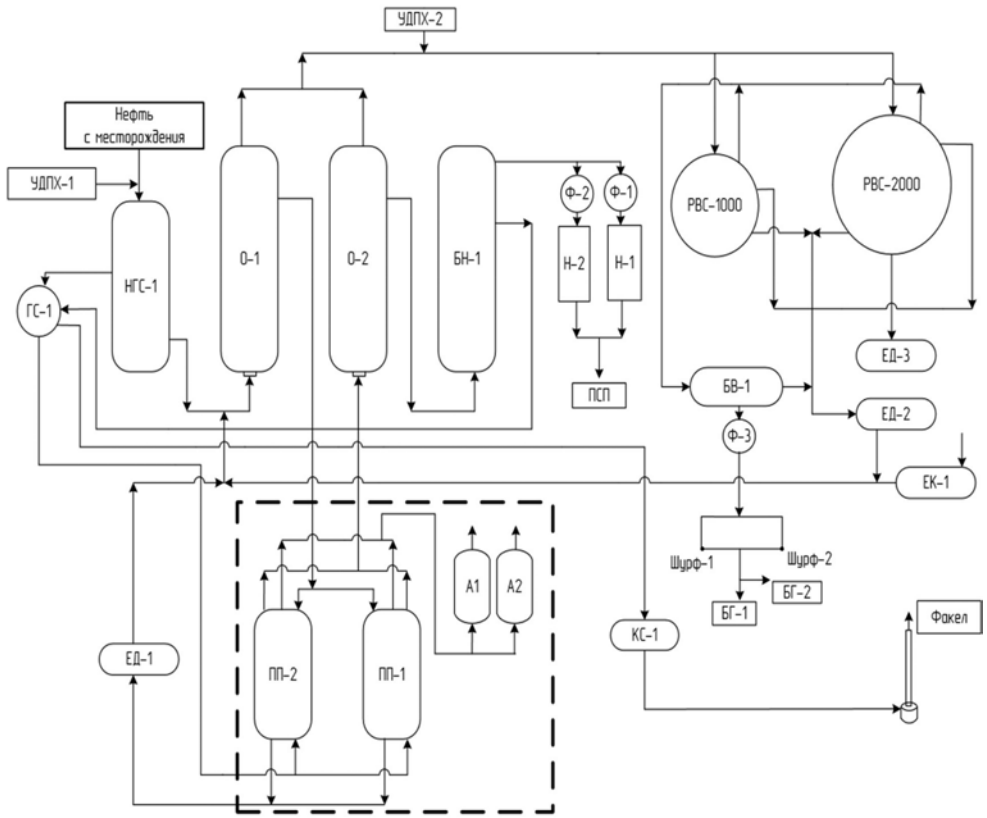


Рис. 3. Конструкция адсорбера:

1 – загрузка гранулированного сорбционного материала, 2 – корпус,
3 – сетчатый элемент, 4 – основание, 5 – ороситель



НГС-1 – нефтегазовый сепаратор;
 О-1,2 – отстойники;
 БН-1 – буферная емкость нефти;
 РВС-1,2 – резервуар-отстойники;
 ГС-1 – газовый сепаратор;
 КС-1 – конденсатосборник;
 УДПХ-1,2 – установки дозированной подачи
 химреагента;

ЕД-1,2,3 – емкости подземные дренажные;
 ЕК-1 – емкости дренажные канализационные;
 БВ-1 – буферная емкость воды;
 Ф-1,2,3 – фильтры жидкостные сетчатые;
 БГ-1,2 – блоки напорной гребенки;
 ПП-1,2 – путевые подогреватели нефти;
 А1,2 – адсорберы с неподвижным слоем
 периодического действия

Рис. 4. Модернизированная технологическая схема очистки газовых выбросов от диоксида азота на предприятии

Размещение технологической схемы производства гранулированного сорбционного материала предусмотрено по месту его использования. Осушенный карбонатный шлам загружается в смеситель-гранулятор, где он смешивается с жидким натриевым стеклом. Полученные гранулы диаметров 1,0–2,5 мм загружаются в муфельную печь, где происходит прокалывание гранул. После этого готовые гранулы отправляются в бункер на охлаждение и хранение. В последующем процессе они поступают в бункер-дозатор для подачи в адсорбер и для дальнейшей очистки газовых выбросов.

Предотвращенный экологический вред, причиненный атмосферному воздуху, составит 394,8 тыс. руб./год. Предотвращенный экологический вред, причиненный почвам, составит 1,053 млн руб./год. Капитальные затраты для внедрения схемы очистки газовых выбросов 572,06 тыс. руб. Себестоимость изготовления ГРСМ 12,87 руб./кг. Срок окупаемости капитальных вложений 1,64 года.

Таким образом, проведенные исследования показали целесообразность адсорбционной очистки уходящих газов, образующихся в результате сжигания попутного нефтяного газа, с использованием гранулированного сорбционного материала на основе отхода теплоэнергетики – карбонатного шлама. Результаты расчетов подтверждают экологическую и экономическую эффективность предлагаемых технических и технологических решений.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 18–79–10136 <https://rscf.ru/project/18-79-10136/>

Библиография

1. Тетельмин В. В., Язев В. А. Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе: учеб. пособие. Долгопрудный: ИД «Интеллект», 2009. 352 с.
2. Рустамов З.А., Брюхова К. С. Проблема утилизации попутного нефтяного газа. Анализ и современное состояние // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. 2019. № 58. С. 102–109.
3. Оздоева А. Х. Выбор технологий полезного использования попутного нефтяного газа на основе экономических оценок: дис. ... канд. экон. наук. М., 2016. 170 с.
4. Подавалов Ю. А. Экология нефтегазового производства. М.: Инфра-Инженерия, 2010. 416 с.
5. Страус В. Промышленная очистка газов / пер. с англ. Ю. Я. Косого. М.: Химия, 1981. 616 с.
6. Николаева Л. А. Исследование процессов сорбции оксидов азота и серы из дымовых газов ТЭС шламом химводоочистки // Теплоэнергетика. 2013. № 4. С. 16–19.