



КОМПЬЮТЕРНЫЙ  
АНАЛИЗ  
ГИДРООЧИСТКИ ДТ

ТЕХНОЛОГИИ  
СЖИЖЕНИЯ  
ГАЗА

«КРАСНАЯ КНИГА»  
НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ

# Нефтегаз.RU

ДЕЛОВОЙ ЖУРНАЛ

ИНТЕРЕСНО О СЕРЬЕЗНОМ

ISSN 2410-3837

2 [122] 2022

## РЕАКТИВНОЕ ТОПЛИВО



Входит в перечень ВАК

# ПРЕВРАЩЕНИЕ CO<sub>2</sub> В СО

## Разработка мембраны из анионообменной смолы

**Шутко Александра Васильевна**  
студент

**Машкова Анастасия Михайловна**  
проректор по международной деятельности и региональному сотрудничеству, к.и.н.

**Соловьев Николай Владимирович**  
заведующий кафедрой современных технологий бурения скважин, д.т.н., профессор

**Щербакова Ксения Олеговна**  
преподаватель кафедры современных технологий бурения скважин

**Овезов Батыр Аннамхаммедович**  
старший преподаватель кафедры современных технологий бурения скважин

ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ)

В ПОСЛЕДНЕЕ ВРЕМЯ ВСЕ ЧАЩЕ ВЕДУТСЯ ДИСКУССИИ ПО ПОВОДУ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ И ЕГО ПОСЛЕДСТВИЙ. ЭТА ПРОБЛЕМА ПРИВЕЛА К ПОЯВЛЕНИЮ ТАКОГО ПОНЯТИЯ, КАК ДЕКАРБОНИЗАЦИЯ. ПОЛИТИКА ДЕКАРБОНИЗАЦИИ ПРЕДПОЛАГАЕТ ДЕЙСТВИЯ, НАПРАВЛЕННЫЕ НА СНИЖЕНИЕ ЭМИССИИ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА ПРИ АНТРОПОГЕННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ. ПУТИ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСА УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА РАЗЛИЧАЮТСЯ, ОДНАКО ОСНОВНОЙ ПРИНЦИП У ВСЕХ ОДИН. ФОРСИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДА НА БЕЗУГЛЕРОДНОЕ ТОПЛИВО И ПРЕЖДЕВРЕМЕННЫЙ, ПО МНЕНИЮ АВТОРОВ, ОТКАЗ ОТ ТРАДИЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ПРИВЕЛИ К НЕХВАТКЕ РЕСУРСОВ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ, ПОСЛЕДУЮЩИМ НЕГАТИВНЫМ СОБЫТИЕМ ОКАЗАЛАСЬ НЕХВАТКА РЕСУРСОВ ДЛЯ ПОЛНОЦЕННОГО ОТОПЛЕНИЯ ЖИЛЫХ ПОМЕЩЕНИЙ. ПРИЧИНАМИ ПОСЛУЖИЛИ НЕПОСТОЯННОСТЬ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ И НЕВОЗМОЖНОСТЬ ДОЛГОСРОЧНОГО ХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ, ВЫРАБОТАННОЙ БЛАГОДАРЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫМ ИСТОЧНИКАМ. РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ ТАКЖЕ РАЗВИВАЕТ ПОЛИТИКУ ДЕКАРБОНИЗАЦИИ, НЕ ОТКАЗЫВАЯСЬ ОТ ТРАДИЦИОННОГО ТОПЛИВА И ПРИМЕНЯЯ ПРИ ДОБЫЧЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ТЕХНОЛОГИИ, ПОЗВОЛЯЮЩИЕ СНИЗИТЬ АКТИВНЫЕ ВЫБРОСЫ. КАКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРЕДЛАГАЮТ РОССИЙСКИЕ УЧЕНЫЕ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ?

*IN RECENT YEARS, THERE HAVE BEEN MORE AND MORE DISCUSSIONS ABOUT GLOBAL WARMING AND ITS CONSEQUENCES. THIS PROBLEM HAS LED TO THE EMERGENCE OF SUCH A THING AS "DECARBONIZATION". THE DECARBONIZATION POLICY INVOLVES ACTIONS AIMED AT REDUCING CARBON DIOXIDE EMISSIONS FROM ANTHROPOGENIC IMPACT ON THE ENVIRONMENT. WAYS TO REDUCE CARBON EMISSIONS VARY, BUT THE BASIC PRINCIPLE IS THE SAME. FORCING THE TRANSITION TO CARBON-FREE FUEL AND PREMATURE, ACCORDING TO THE AUTHORS, THE ABANDONMENT OF TRADITIONAL ENERGY SOURCES LED TO A LACK OF RESOURCES FOR INDUSTRY, THE SUBSEQUENT NEGATIVE EVENT WAS THE LACK OF RESOURCES FOR FULL-FLEDGED HEATING OF THE POPULATION. THE REASONS WERE THE FICKLENESS OF ENERGY SOURCES AND THE IMPOSSIBILITY OF LONG-TERM STORAGE OF ENERGY GENERATED FROM ALTERNATIVE SOURCES. THE RUSSIAN FEDERATION IS ALSO DEVELOPING A DECARBONIZATION POLICY, WITHOUT ABANDONING TRADITIONAL FUELS AND USING TECHNOLOGIES IN MINING TO REDUCE ACTIVE EMISSIONS. WHAT TECHNOLOGIES DO RUSSIAN SCIENTISTS OFFER TO REDUCE HARMFUL EMISSIONS?*

Ключевые слова: декарбонизация, углеродные выбросы, анионообменная смола, попутный нефтяной газ, мембрана.

Сегодня все игроки нефтегазового рынка задумываются о том, как снизить выбросы CO<sub>2</sub>, в попытке решить этот вопрос они внедряют новые технологии для «очистки» старых процессов. Решить вопрос, со своей стороны, пытается и правительство. Так, 8 ноября 2012 года правительством Российской Федерации было принято постановление «Об особенностях

исчисления платы за негативное воздействие на окружающую среду при выбросах в атмосферный воздух загрязняющих веществ, образующихся при сжигании на факельных установках и/или рассеивании попутного нефтяного газа», в котором установлено предельное допустимое значение показателя сжигания или рассеивания ПНГ в размере не более 5%

объема добытого попутного нефтяного газа. [2] Но штрафы за нарушение столь незначительны в масштабах деятельности добывающих компаний, что ими проще пренебречь. Практика показала, что эта мера не возымела должного воздействия и пока Роспотребнадзор пытается ужесточить наказание, ученые решают проблему разрабатывая эффективные технологии.

УДК 502.3

РИС. 1. Добыча ПНГ и природного газа в РФ за последние 10 лет



Распространенными технологиями переработки CO<sub>2</sub> сегодня являются:

- захват и сохранение углекислого газа (декарбонизация) – захват и сжигание диоксида углерода. Данная технология не является экологичной;
- закачивание в пласт – выделяемый в процессе бурения CO<sub>2</sub> закачивают обратно в пласт для повышения нефтеотдачи. Минусом данной технологии является прямая зависимость от геологических условий. Альтернативным решением данной проблемы может выступить утилизация попутного газа.

Global Carbon Atlas приводит сведения о загрязнении атмосферы, где за годичный период

выбрасывается около 343 млн тонн углекислого газа с горящих факелов на морских платформах. По прогнозам Метеорологического бюро, ожидалось, что в 2021 году концентрация диоксида углерода в атмосфере в очередной раз значительно возрастет, и ожидания оправдались: выбросы превысили объемы предшествующие временам пандемии.

Потребовалось более 200 лет, чтобы уровень CO<sub>2</sub> повысился на 25% в 1990 г, но теперь, чуть более 30 лет спустя, мы приближаемся к увеличению на 50%. Чтобы повернуть вспять эту тенденцию и замедлить рост выбросов CO<sub>2</sub> в атмосфере, необходимо сократить глобальные выбросы. Это должно произойти в ближайшие 40 лет

или около того, если глобальное потепление будет ограничено 1,5°C [2].

Как уже говорилось ранее, существующие попытки утилизации диоксида углерода являются неэффективными. Рассмотрим основные из них.

Переработка ПНГ. Под переработкой природных газов понимается совокупность технологических процессов физического, физико-химического и химического преобразования природного и попутного нефтяного газа в продукты переработки (товарную продукцию с высокой добавочной стоимостью) [4]. Еще одним недостатком данной технологии можно считать возможность строительства дополнительных газоперекачивающих станций. Данная разработка хорошо применима на суше, поблизости с населенными пунктами и местами переработки, это создает определенные рамки, которые затрудняют использование данной технологии, к примеру, в зонах Арктики.

Выработка электроэнергии – высокое содержание углеводородных цепочек в ПНГ обуславливает его применение в качестве топлива. При этом возможно применение газа как для приводов газосжатого оборудования, так и для выработки электроэнергии

РИС. 2. Эмиссия диоксида углерода за последний год

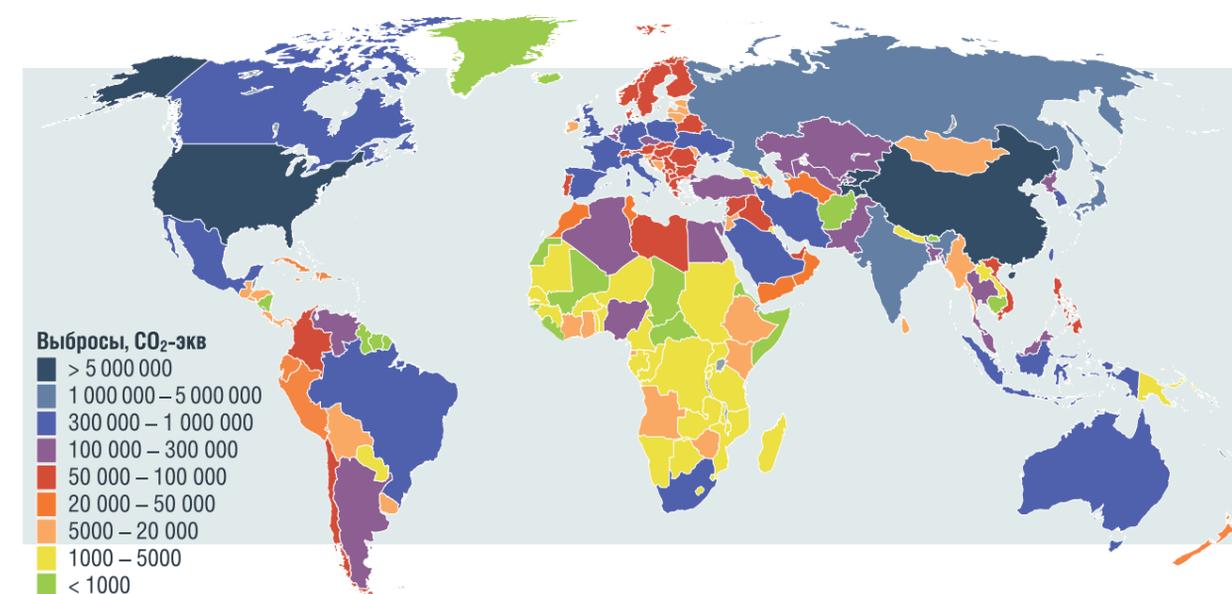
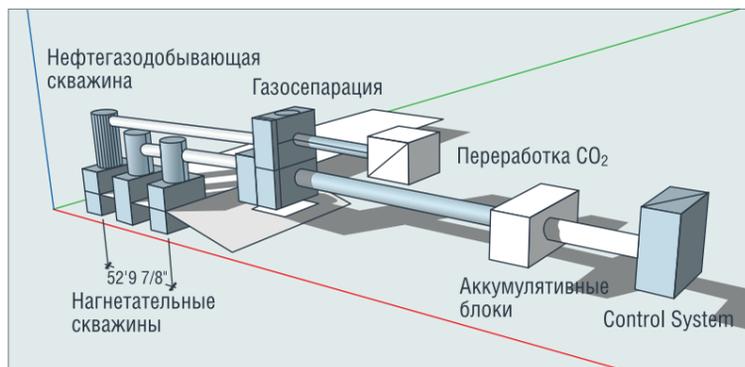


РИС. 3. Установка по переработке ПНГ



на собственные нужды с применением газотурбинных или газопоршневых установок [5]. Для крупных месторождений со значительным дебитом ПНГ целесообразна организация электростанций с выдачей электроэнергии в региональные сети электроснабжения.

К недостаткам этого направления можно отнести жесткие требования широко распространенных традиционных ГТЭС и ГПЭС к составу топлива (содержание сероводорода не выше 0,1%), что требует увеличенных затрат на применение систем газоочистки и эксплуатационных затрат на техническое обслуживание оборудования. Выдача электроэнергии во внешние электросети невозможна на удаленных месторождениях по причине отсутствия внешней энергетической инфраструктуры.

Переработка ПНГ методом Фишера–Тропша. Это многостадийный, долговременный и сложный процесс. Первоначально из попутного нефтяного газа окислением при высокой температуре получают смесь CO и H<sub>2</sub>, из которого вырабатывают метанол или синтетические углеводороды, используемые для производства моторного топлива. Недостаток направления – высокие капитальные и эксплуатационные затраты.

В связи с вышеперечисленными обстоятельствами предлагается установка, которая включает в себя систему искусственного фотосинтеза, по восстановлению CO<sub>2</sub> до CO под действием света и металлических катализаторов с выделением кислорода. Ключевым продуктом будет являться капсула, которая осуществляет процесс искусственного фотосинтеза на нефтегазодобывающих

РИС. 4. Отделение ПНГ от углекислого газа



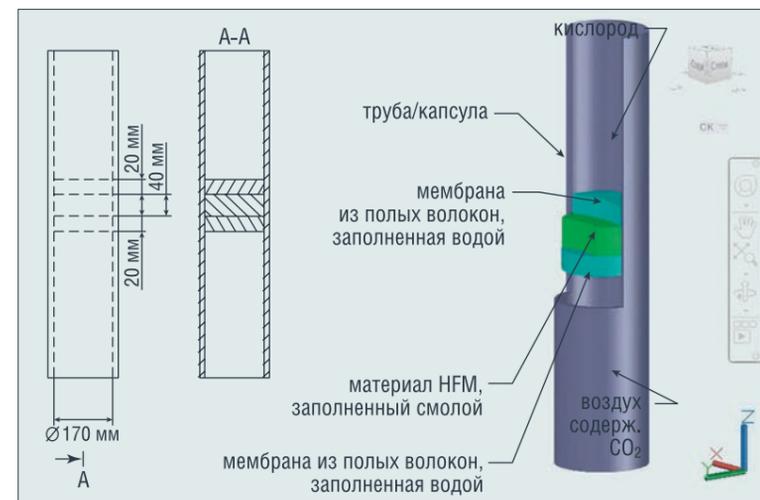
месторождениях. В изделие будет подаваться диоксид углерода, сепарируемый из попутного нефтяного газа, и капсула будет накапливать его в виде иона CO в анионообменной смоле (основной элемент мембраны).

Предполагается размещать капсулы, исходя из существующих технологий первичной переработки ПНГ. После проведения через систему сепарации и прохождения через компрессорные блоки, углекислый газ сжигают. Однако предлагается рассмотреть вариант его переработки или утилизации.

Установка состоит из нескольких последовательно расположенных блоков, которые будут отвечать за определенный этап переработки попутного нефтяного газа.

Первым этапом будет являться разделение ПНГ на базовые компоненты. Фракционирование ПНГ осуществляется на

РИС. 5. Капсула по переработке углекислого газа



газовой установке путем нагрева смешанного потока и его обработки через серию мембранных установок. При фракционировании используются преимущества различных температур кипения различных мембран. Когда поток газа нагревается, самый легкий компонент газовой смеси (с самой низкой температурой кипения) сначала выкипает и отделяется. Верхний пар конденсируется, часть используется в качестве рефлюкса, а оставшаяся часть направляется на хранение продукта в отдельный блок, отвечающий за аккумуляцию ценных газовых составляющих. Более тяжелая жидкая смесь в нижней части первой колонны направляется далее сквозь следующую мембрану, где процесс повторяется, и в качестве продукта отделяется другой компонент газовой смеси. Этот процесс повторяется до тех пор, пока ПНГ не будет разделен на отдельные компоненты и не распределен по местам хранения ценных углеводородов. Таким образом, сорбция углеводородов в полимерную матрицу направляется соотношением температур кипения отделяемых компонентов.

Высокоэффективные неорганические мембраны находят подходящее применение при разделении смесей углеводородов, так как цеолиты обеспечивают идеальные условия сопротивления для разделения органических молекул благодаря их преимущественной адсорбции,

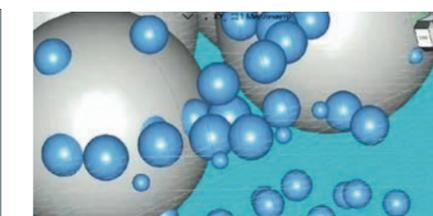
преимущественной диффузии или чистому молекулярному просеиванию.

После разделения ПНГ на несколько составляющих, ценные компоненты отправляются на хранение в специально отведенные для этого блоки, а CO<sub>2</sub> направляется либо в нагнетательные скважины, где под идентичным давлением подается газ для повышения нефтеотдачи, либо направляется в блок по переработке углекислого газа и производству собственного биотоплива. Все напрямую зависит от геологических условий и нефтеотдачи пласта.

В случае если закачка в нагнетательные скважины не требуется, диоксид углерода пропускают сквозь капсулу с мембраной и металлическими катализаторами.

Капсула имеет цилиндрическую форму, в нее внедрено несколько мембран, которые состоят из НФМ материала, анионообменной смолы и катализаторов. НФМ материал является связующим и вмещающим материалом. Помимо вышеперечисленных компонентов, для направления и ускорения

РИС. 6. Ионообменная реакция



реакции требуется постоянная подача воды для смачивания мембраны.

Основные технические параметры, определяющие количественные, качественные и стоимостные характеристики продукции (в сопоставлении с существующими аналогами, в т.ч. мировыми):

Специальная мембрана из анионообменной смолы, которая при смачивании будет подавать CO<sub>2</sub> в сторону реакции и превращать CO<sub>2</sub> в CO.

Основные технические характеристики разработки:

1. Ожидаемый КПД процесса искусственного фотосинтеза – 14%.
2. Переработка CO<sub>2</sub> в сутки – 0,4 т.
3. Эффективность в 5 раз выше, чем при фотосинтезе растений.
4. Снижение концентрации CO<sub>2</sub> в сутки на 10% на территории в радиусе 100 метров при площадных условиях размером 1,7–0,2 метра.

При этом, принимая форму капсулы, мембрана будет оснащена необходимым количеством металлических катализаторов, ускоряющих реакцию, доводя реакцию до частоты оборота 58,3 в секунду.

ТАБЛИЦА. Производительность полимерных мембран для разделения ароматических/алифатических углеводородов

Система (бинарные жидкие смеси)	Мембранный материал	Селективность (α)	Поток (кг мкм м <sup>-2</sup> ч <sup>-1</sup> )	Температура (°C)
Толуол (10–70%)/н-гексан	Полиуретан	2,8–5,8	1,1–3,5	25
Толуол (11%)/п-октановое число	Сульфонилсодержащий полиимид	155	1,1	40
Толуол (50%)/i-октановое число	Ионно сшитые сополимеры метила, этила, н-буталакрилата с АА	2,5–13	20–1000	40
Бензол(8%)/н-гексан	Мембрана, пересаженная плазмой	210	0,9	70
Бензол/н-гексан	Сульфонилсодержащий полиимид	22	1,2	40
Бензол(60%)/циклоксан	HDPE-g-GMA	19–22	3–3,7	70
Бензол(50%)/циклоксан	PS/PAA	48,4	9,6	20
Бензол(10%)/циклоксан	Композит углерод-графит-нейлон 6	435	–	–
Бензол/циклоксан (5/15)	ПЕРВАП®2200 (композитная мембрана)	71	76,7	25
Бензол/циклоксан (5/15)	ПЕРВАП®2200 (композитная мембрана)	68	151	25

РИС. 7. Состав металлического катализатора

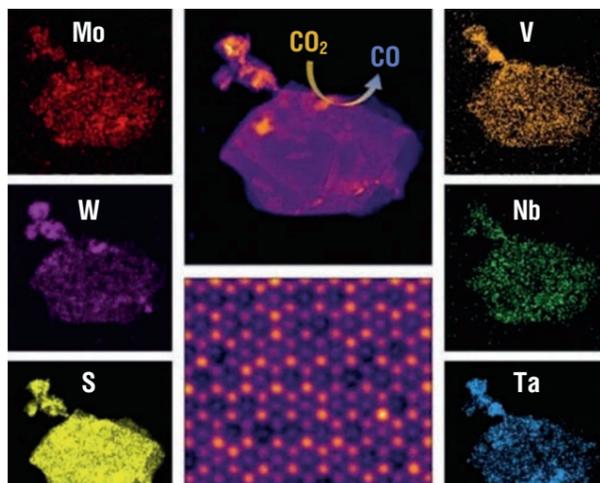
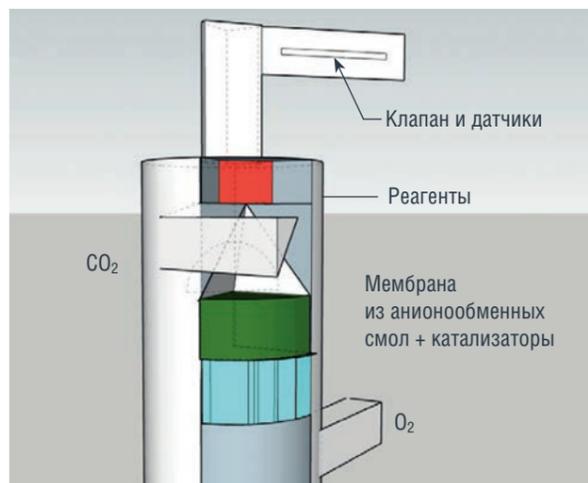


РИС. 8. Утилизация CO из мембраны



Катализаторы должны быть в виде сплава из следующих металлов: молибден, вольфрам, ванадий, ниобий и тантал – вместе с серой в качестве халькогена.

Процесс очищения мембраны от CO будет производиться путем химической реакции. Выше капсулы будут находиться реагенты, которые благодаря специальным датчикам автоматизировано будут подаваться на мембрану. При срабатывании датчиков, срабатывает рычаг, спуская реагенты.

В системе присутствует блок с контролирующей системой. При повышении концентрации природного или угарного газа до уровня порога соответствующий сигнализатор загазованности выдает световой, звуковой и электрический сигналы

в линию связи. В системах САКЗ-МК-2, САКЗ-МК-3 этот сигнал через цепочку сигнализаторов поступает на блок сигнализации и управления БСУ или БСУ-К, который также осуществляет световую индикацию (БСУ-К включает звуковую сигнализацию), срабатывает сигнализация порога, по этому сигналу БСУ (в модификации САКЗ-МК-2) или БСУ-К (в модификации САКЗ-МК-3) выдает импульсы на клапан, который закрывается и прекращает подачу газа.

Для каждого газа подбираются свои датчики. Данная система поможет контролировать степень заполненности аккумулятивных блоков, степень изношенности анионообменных мембран, также сможет определять уровень содержания газов в системе.

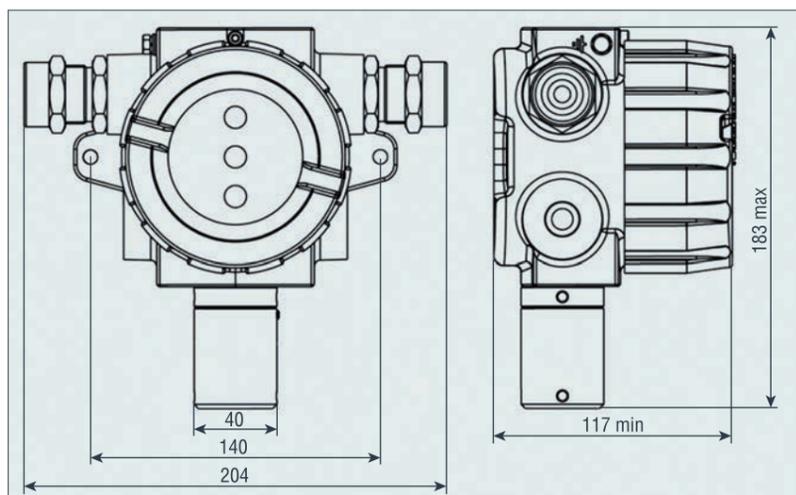
Исходя извышеизложенного, следует отметить, что проблема экологии будет затрагивать наше общество ещедолгие годы. При этом стоит отметить, что проблемы и их последствия, которые могут стать необратимыми, необходимо решать уже сейчас. Данная разработка нацелена на сдерживание и сохранение современной экологической ситуации и является довольно актуальной и важной не только в нефтегазовой сфере. Технологию переработки углекислого газа в последующем будет возможно применять повсеместно. ●

**Литература**

1. Меры по борьбе с изменением климата [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/climate-change/>.
2. Об особенностях исчисления платы за негативное воздействие на окружающую среду при выбросах в атмосферный воздух загрязняющих веществ, образующихся при сжигании на факельных установках и/или рассеивании попутного нефтяного газа: постановление Правительства Рос. Федерации от 8 ноября 2012 г. № 1148 // Собр. законодательства Рос. Федерации. – 2012. – № 1148. – Ст. 16.3, п. 13.
3. Росэкспертиза Проблемы использования попутного нефтяного газа в России (<http://rostehexpertiza.ru/analytics/png/>).
4. Сведения о загрязнении атмосферы [Электронный ресурс] // Global Carbon Atlas – Режим доступа: <http://www.globalcarbonatlas.org/ru/CO2-emissions>.
5. Сланцевые углеводороды, технологии добычи, экологические угрозы, В.В. Тетельмин, В.А. Язев, А.А. Соловьев, Долгопрудный: Издательский Дом «ИНТЕЛЛЕКТ», 2014. – 296 с. Глава 9 п. 9.6 на с. 256.

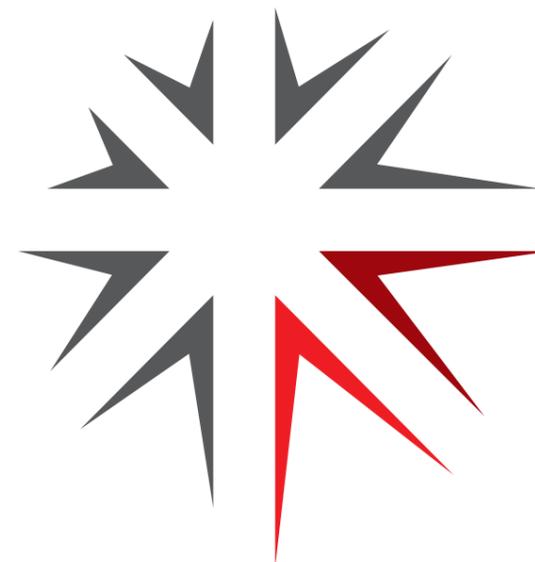
**KEYWORDS:** decarbonization, carbon emissions, anion exchange resin, associated petroleum gas, membrane.

РИС. 9. Схема датчика



26–28  
АПРЕЛЯ 2022

КЛЮЧЕВАЯ  
ПЛОЩАДКА  
СФЕРЫ ТЭК



РОССИЙСКИЙ  
МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
**РМЭФ**  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ  
ФОРУМ

XXIX МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА  
**ЭНЕРГЕТИКА И  
ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**



18+  
КОНГРЕССНО-ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР  
**ЭКСПОФОРУМ**  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГ, ПЕТЕРБУРГСКОЕ ШОССЕ, 64/1

ENERGYFORUM.RU  
rief@expoforum.ru  
+7 (812) 240 40 40, доб.2626  
**EXPOFORUM**

ENERGETIKA-RESTEC.RU  
energo@restec.ru  
+7 (812) 303 88 68  
**РЕСТЭК**  
выставочное объединение

