

РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

ТЕХНОЛОГИИ УЛАВЛИВАНИЯ И ЗАХОРОНЕНИЯ УГЛЕРОДА

Изменение климата, обусловленное выбросами парниковых газов, становится все более острой глобальной проблемой. Концентрация углекислого газа в атмосфере Земли в 2016 г. преодолела психологически значимую отметку в 400 ppm (parts per million — частицы CO₂ на миллион частиц воздуха). Ожидается, что к концу столетия концентрация CO₂ может увеличиться примерно в 2 раза. При этом, несмотря на устойчивый рост солнечной и ветровой энергетики, конкурентоспособной альтернативы традиционным технологиям сжигания углеводородов до сих пор не существует.

По данным Международного энергетического агентства, наибольшая доля выбросов углекислого газа приходится на предприятия черной металлургии (30%) и цементной промышленности (26%). Спрос на продукцию этих отраслей вырастет к 2050 г. на 30% и 22% соответственно. Технологии улавливания и захоронения углерода (carbon capture and storage technology — CCS) признаны критически важными для сдерживания роста температуры на планете в пределах 1,5–2 °C к 2050 г. Применение этих технологий — эффективный способ существенно снизить объем выбросов «грязных» предприятий.

Используемый метод аминовой очистки, в силу запретительной дороговизны, не нашел широкого применения в промышленности. Однако новые технологические решения (например, применение ферментов, мембран и хемосорбентов) будут способствовать удешевлению данного метода и его широкому внедрению.

Трендлеттер выходит 1–2 раза в месяц.

Каждый выпуск посвящен одной теме:

- Медицина и здравоохранение
- **Рациональное природопользование**
- Информационно-коммуникационные технологии
- Новые материалы и нанотехнологии
- Биотехнологии
- Транспортные средства и системы
- Энергоэффективность и энергосбережение

Мониторинг глобальных технологических трендов проводится Институтом статистических исследований и экономики знаний Высшей школы экономики (issek.hse.ru) в рамках Программы фундаментальных исследований НИУ ВШЭ.

При подготовке трендлеттера использовались следующие источники:

Прогноз научно-технологического развития РФ до 2030 года (prognoz2030.hse.ru), материалы научного журнала «Форсайт» (foresight-journal.hse.ru), данные Web of Science, Orbit, WWF, МЭА (IEA), IPCC, UN, Siemens, gartner.com, accenture.com, weforum.org, newatlas.com, exchangemonitor.com, gminsights.com, grandviewresearch.com, netl.doe.gov, bccresearch.com и др.

Более детальную информацию о результатах исследования можно получить в ИСИЭЗ НИУ ВШЭ: issek@hse.ru, +7 (495) 621-82-74.

Над выпуском работали:

Олеся Никулина, Илья Кузьминов, Юлия Мильшина, Лилия Киселева, Елена Гутарук, Владимир Пучков.

© Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 2017

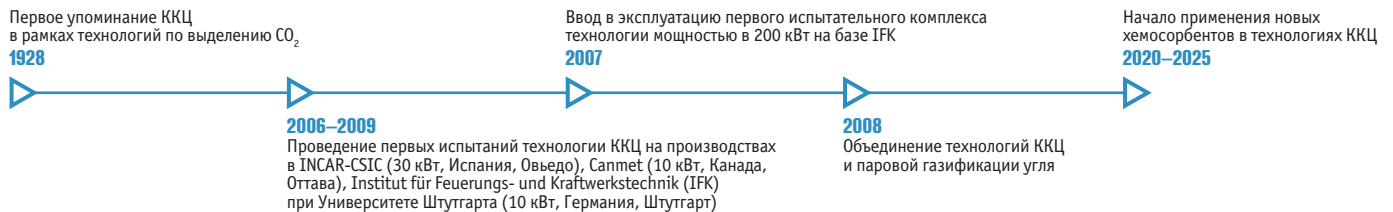
ВЫДЕЛЕНИЕ CO₂ ИЗ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ В КАЛЬЦИЕВО-КАРБОНАТНОМ ЦИКЛЕ

Высокая стоимость промышленных установок, отсутствие универсальной инфраструктуры и значительная энерго- и ресурсоемкость сдерживают активное применение традиционных методов выделения CO₂ из дымовых газов. На фоне данных ограничений прорывной стала технология кальцево-карбонатного цикла (ККЦ), использующая в качестве хемосорбента (сорбент, образующий при взаимодействии с поглощаемым веществом химическое соединение) оксид кальция, который получают из дешевых и широко распространенных кальцийсодержащих известняков и доломитов.

Техническая реализация метода заключается в перемещении сорбента CaO между двумя реакторами с кипящим слоем, в одном из которых при пониженной температуре происходит поглощение CO₂, а в другом при более высокой температуре — разложение карбоната кальция. Применение данной технологии ориентировано, в первую очередь, на угольные электростанции с высокими выбросами CO₂ на единицу производимой мощности.

Использование ККЦ для выделения CO₂ из дымовых газов имеет ряд несомненных преимуществ, среди которых: относительная дешевизна метода, значительное сокращение количества требуемого для реакции кислорода, а также ускорение процесса поглощения углекислого газа благодаря высокой температуре проведения реакции.

Технологическая эволюция: развитие технологии ККЦ



Эффекты

- Снижение удельной стоимости «предотвращенного выброса» CO₂ в 2 раза (с 1800 руб./т (традиционная аминовая очистка) до 900 руб./т)
- Сокращение энергопотерь до 6–8% (по сравнению с 13–15% в аминовых технологиях)
- Возможность выделения CO₂ при температурах выше 600 °C
- Коэффициент улавливания — около 90% от общего количества CO₂

Оценки рынка

\$29 млрд

к 2020 г. составит удельная стоимость «предотвращенного выброса» CO₂ с использованием технологии ККЦ в России

Рынок технологий улавливания CO₂ только развивается, по всему миру действуют 22 проекта с использованием этих технологий, 14 проектов ожидают старта. В 2015 г. объем мирового рынка улавливания CO₂ в номинальном выражении составил 61,2 килотонны в 2015 г. Вероятный срок максимального проявления технологического тренда: 2030–2040 гг.

Драйверы

- ↑ Глобальное признание необходимости сокращения выбросов CO₂, зафиксированное в Парижском соглашении по климату 2015 г., стратегии IEA до 2050 г. (Blue Map)
- ↑ Доступность и дешевизна кальцийсодержащих известняков и доломитов, использующихся в CCS
- ↑ Высокая доля тепловой энергетики в выработке электроэнергии (США — 32%, Россия — 24%)

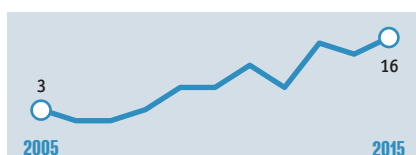
Барьеры

- ↓ Необходимость проведения дополнительных научных исследований для развития технологии
- ↓ Отсутствие необходимой инфраструктуры для применения технологии ККЦ на предприятиях
- ↓ Высокая стоимость внедрения технологии
- ↓ Привязка размещения установок к источникам известняка, транспортировка которого на дальние расстояния экономически невыгодна

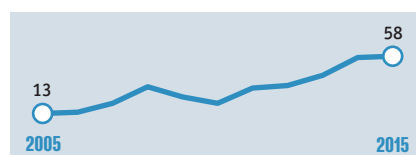
Структурный анализ: роль различных технологий для снижения выбросов CO₂

Переход с угля на газ	5%
Атомная энергия	6%
Возобновляемые источники энергии	6%
Биомасса	2%
Гидроэнергия	2%
Улавливание и хранение CO₂ (CCS)	12%
Более эффективное производство энергии из ископаемого топлива	1%

Международные научные публикации



Международные патентные заявки



Уровень развития технологии в России

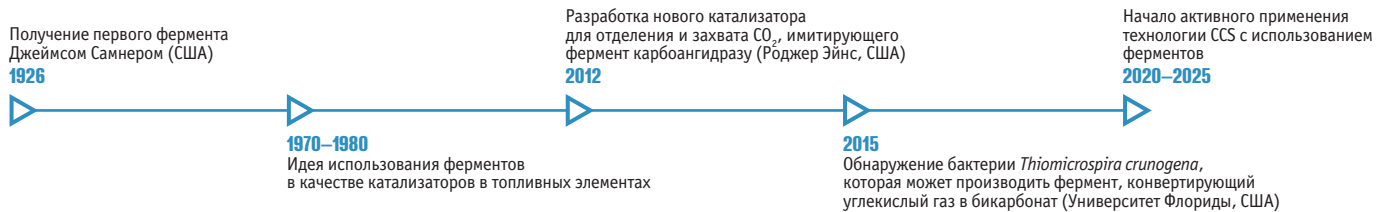
«Заделы» — наличие базовых знаний, компетенций, инфраструктуры, которые могут быть использованы для форсированного развития соответствующих направлений исследований

ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОЕ ВЫДЕЛЕНИЕ CO₂ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФЕРМЕНТОВ

При выборе метода CCS первостепенное значение имеют экологичность и рентабельность технологии. Одним из наиболее перспективных способов выделения CO₂ является использование ферментов — органических веществ белковой природы. Ключевая роль в ферментном разделении CO₂ отводится карбоангидразе, имитирующей природный фермент человеческих легких, который захватывает и выводит CO₂ из крови и тканей. Она катализирует химическую реакцию между диоксидом углерода и водой, преобразуя углекислый газ в бикарбонат, который затем может быть переработан в пищевую соду и мел.

Для работы в промышленных условиях фермент иммобилизуется с растворителем внутри реактора. При прохождении дымового газа через растворитель фермент превращает углекислый газ в бикарбонат.

Технологическая эволюция: развитие технологий выделения CO₂ с использованием ферментов



Эффекты

- Ускорение процесса выделения CO₂ из промышленных выбросов с использованием мембран на ферментах в 100 раз по сравнению с традиционными полимерными мембранами
- В 10–100 раз увеличится эффективность выделения CO₂ из дымовых газов с использованием ферментов в мембранах по сравнению с использованием в них азота
- Получение экологически чистого (на 90–99%) углекислого газа
- Сокращение выбросов CO₂ на 1,2 Мт в год на одной угольной электростанции мощностью 1000 МВт

Оценки рынка

\$7,8 млрд

в 2019 г. составит объем глобального рынка промышленных ферментов (темпы ежегодного роста — 8%).

\$300 млн

к 2019 г. достигнет российский рынок промышленных ферментов (в 2012 г. — \$173 млн, темпы роста — 10% в год)

Вероятный срок максимального проявления тренда: 2040–2050 гг.

Драйверы

- ↑ Увеличение выплат предприятий за выбросы загрязняющих веществ в атмосферу
- ↑ Развитие биотехнологий и признание ферментов эффективным катализатором в энергетике
- ↑ Относительно низкие капитальные затраты на установку и эксплуатацию систем очистки выбросов с использованием ферментов

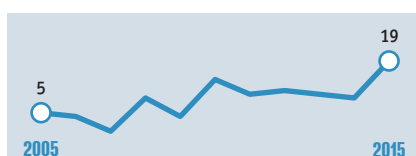
Барьеры

- ↓ Отсутствие стимулов по использованию ферментов в промышленном производстве в связи с наличием менее затратных технологий
- ↓ Высокая конкуренция на мировом рынке ферментов и ферментных препаратов

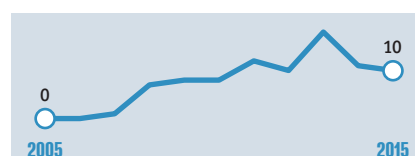
Структурный анализ: снижение выбросов CO₂ для различных групп стран

Страны	Базовый сценарий (Мт CO ₂)		Базовый сценарий с использованием технологий CCS (Мт CO ₂)	Сокращение выбросов благодаря CCS (Мт CO ₂)
	2003	2050		
Страны с переходной экономикой	2 543	3 953	3 502	451
Развивающиеся страны	9 020	32 120	28 012	4 108
Весь мир	24 532	58 022	54 022	4 000

Международные научные публикации



Международные патентные заявки



Уровень развития технологии в России

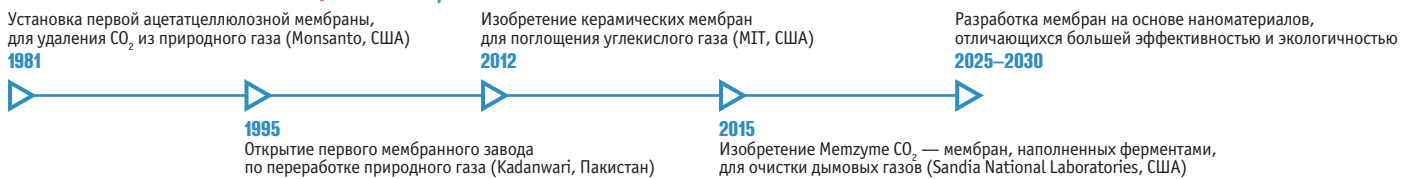
«Белые пятна» — существенное отставание от мирового уровня, отсутствие (или утрата) научных школ

МЕМБРАННЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ЗАХВАТА CO₂ ДО СЖИГАНИЯ

Существенная роль в сокращении эмиссии углекислого газа и уменьшении негативных последствий глобального изменения климата принадлежит технологиям захвата CO₂ до сжигания. Однако использование традиционных аминовых технологий увеличивает стоимость электроэнергии на 80% и ее расход на 25–40% от показателей без применения технологий CCS.

Среди доступных альтернатив наиболее перспективно использование мембранных систем, не требующих серьезных инвестиций по установке. Мембрана пропускает конденсирующиеся пары (C3+ углеводороды и тяжелее; ароматические углеводороды; воду), но не пропускает неконденсируемые газы (метан, этан, азот и водород). Данный метод позволит существенно снизить негативное влияние выбросов углекислого газа на экологию, сократит затраты на электроэнергию.

Технологическая эволюция: мембранные системы



Эффекты

- Достижение уровня чистоты продуктов CO₂ в 95–98%
- Снижение стоимости предотвращенного выброса до 62–100 \$/т
- Сокращение затрат на улавливание и захоронение углерода на 15% по сравнению с абсорбционными и адсорбционными методами CCS

Оценки рынка

Мировой рынок улавливания и хранения углерода по прогнозам достигнет

\$15 млрд

к 2023 г. (2015 г. — \$2,2 млрд). Темпы ежегодного роста 2016–2023 гг. — 25%

\$2,3 млрд

составит объем мирового рынка мембран к 2021 г. (темпы ежегодного роста — 7,7%)

До 12 млрд руб. к 2020 г. может вырасти рынок мембран в России (в 2016 г. — 5 млрд руб.), однако, мембраны для улавливания парниковых газов пока на рынке представлены мало

Вероятный срок максимального проявления тренда: 2030–2035 гг.

Драйверы

- ↑ Простота эксплуатации, отсутствие необходимости часто менять или промывать элементы
- ↑ Минимальный расход воды и материалов
- ↑ Низкие капитальные затраты на установку мембранных систем
- ↑ Возможность применения мембранных систем в удаленных и труднодоступных районах, в зоне децентрализованной энергетики, для микро-ТЭЦ и дизель-генераторных электростанций

Барьеры

- ↓ Недостаточность инвестиций в научные исследования мембранных технологий для CCS
- ↓ Недостаточный уровень компетенций по разработке и производству мембранных систем

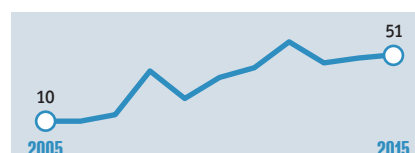
Структурный анализ: производственные и финансовые показатели электростанций

Параметр	Без мембранных систем	С мембранными системами
Суммарная электрическая мощность (мВт)	589,7	883,2
Выбросы CO ₂ (кг/кВт · ч)	0,816	0,122
КПД (%), HHV — higher heating value или наивысшая теплотворная способность)	38,4	25,7
Дополнительные затраты на электроэнергию (\$/мВт)	–	57,6
Стоимость предотвращенного выброса (\$/Мт)	–	83

Международные научные публикации



Международные патентные заявки



Уровень развития технологии в России

«Заделы» – наличие базовых знаний, компетенций, инфраструктуры, которые могут быть использованы для форсированного развития соответствующих направлений исследований