

Б. С. Ксенофонов, д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н. Э. Баумана

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ДЛЯ УЛАВЛИВАНИЯ И УТИЛИЗАЦИИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА: перспективы и возможности

Ключевые слова: улавливание и утилизация углекислого газа, использование технологий очистки сточных вод, экоэнергокомбайны

В статье показаны возможности использования технологий очистки сточных вод для улавливания и утилизации углекислого газа. При этом проанализированы варианты применения физико-химических, в т. ч. флотационных, технологий очистки сточных вод для улавливания и утилизации углекислого газа, а также выращивания микроводорослей, для которых углекислый газ является субстратом. Подчеркивается, что для выращивания одной тонны биомассы микроводорослей требуется почти две тонны углекислого газа. Применение микроводорослей позволяет утилизировать не только углекислый газ, но и биогенные элементы. Приведены примеры аппаратурного оформления процессов улавливания и утилизации углекислого газа.

Решение проблем глобального потепления отчасти связано с увеличением в атмосфере содержания парниковых газов, включая углекислый газ и метан. Известны различные способы и устройства очистки газовых выбросов от газообразных загрязнений, в т. ч. и от углекислого газа. Одним из вариантов является способ

очистки газовых выбросов по принципу сорбции-десорбции углекислого газа в воде [1].

В простейшем варианте такой способ включает абсорбер, работающий при повышенном давлении, и десорбер, в котором вследствие снижения давления из воды выделяется углекислый газ. Для рекуперации энергии может иногда

применяться турбина, позволяющая использовать часть энергии за счет снижения давления жидкости и последующего расширения абсорбированного газа.

Основные преимущества такой водной очистки по принципу абсорбции-десорбции: простота способа и конструкции установки; отсутствие теплообменников и кипятильников; отсутствие расхода тепла; дешевизна растворителя; а также отсутствие паров дорогого или токсичного растворителя, переходящего в газовую фазу.

Основные недостатки данного способа: невысокая степень очистки, большие потери газа при высоком давлении вследствие значительного повышения его растворимости и низкая поглотительная емкость воды по углекислому газу.

Суть другого способа [2] состоит в том, что очистку газов от углекислого газа проводят путем сорбции углекислого газа поглотителем с последующей десорбцией под пониженным давлением и при нагревании, причем в качестве поглотителя применяется сульфон.

Существенным недостатком в данном случае является невысокая степень очистки газовых выбросов от углекислого газа, а также дороговизна поглотителя. И здесь стоит задача разработки нового способа, обеспечивающего увеличение эффективности очистки газовых выбросов от углекислого газа и снижение затрат на поглотитель. В этой связи разработан и предложен для использования способ очистки газов от углекислого газа путем сорбции поглотителем с последующей десорбцией под пониженным давлением при нагревании [3]. Отличительной особенностью является то, что на стадии промывки в качестве поглотителя используется водный щелочной раствор с рН 7–9, а на стадии десорбции – кислый водный раствор с рН 1–5, причем изменение рН с щелочного до кислого значения происходит в течение 1–5 мин. при воздействии на водный раствор магнитного поля с напряженностью в пределах от 500 до 5000 эрстед и градиентом магнитного поля от 10 до 200 эрстед/м.

Предлагаемый автором способ очистки газовых выбросов от углекислого газа [3] осуществляется путем сорбции поглотителем с повышенным давлением с последующей десорбцией под пониженным давлением и при нагревании, причем на стадии сорбции давление процесса составляет в пределах 0,3–2,9 МПа и в качестве поглотителя используется

водный щелочной раствор с рН 7–9, а на стадии десорбции – кислый водный раствор с рН 1–5, причем изменение рН с щелочного до кислого значения происходит в течение 1–3 мин. при воздействии магнитного поля напряженностью в пределах от 300 до 5000 эрстед с градиентом поля от 10 до 200 эрстед/м. На стадии сорбции используется режим с повышенным давлением 0,3–2,9 МПа и пониженными температурами до 1–10 °С, а на стадии десорбции пределы давления составляют 0,01–0,1 МПа, температуры – 20–90 °С.

Реализация предлагаемого способа осуществляется путем пропускания газовых выбросов при повышенном давлении 0,3–2,9 МПа через слой водного щелочного раствора, имеющего рН 7–9 и температуру 1–100 °С, затем в течение 1–3 мин. рН понижают до значений 1–5 в зоне действия магнитного поля с напряженностью 300–5000 эрстед с градиентом поля в пределах от 10 до 200 эрстед/м. Использование магнитного поля с указанными параметрами, как показали наши исследования, позволяет при изменении рН практически за доли минуты привести водный раствор к равновесному состоянию, так что он может далее эффективно использоваться на стадиях сорбции-десорбции.

При этом сорбцию проводят в режиме с повышенным давлением 0,3–2,9 МПа и пониженными температурами до 1–10 °С, а десорбцию углекислого газа из кислого водного раствора с рН 1–5 проводят при пониженном давлении в пределах 0,01–0,1 МПа и повышенной температуре 20–90 °С. Выбранные параметры режимов абсорбции и десорбции были обоснованы при проведении экспериментальных исследований. При значениях параметров, выходящих за пределы заявленных интервалов, степень очистки заметно падала, и в этой связи необходимо было повторно проводить технологическую операцию очистки газовых выбросов, а следовательно, повышать эксплуатационные затраты.

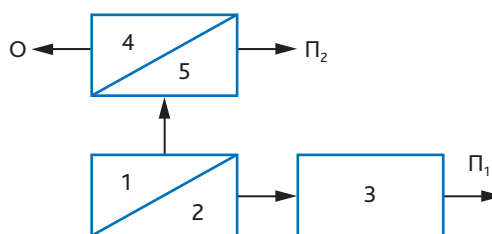


Рис. 1. Схема производства с попутным получением продукции из углекислого газа

Растворенный в воде углекислый газ можно использовать для производства различных продуктов, в т. ч. для получения газировки, сухого льда и др. На рис. 1 схематично показано, что в процессе производства основная продукция (П1) с основной стадии 2 поступает на финишную стадию комплектования 3 и далее направляется заказчику, образуя отходы после предварительной обработки на стадии 1 направляются на использование в качестве сырья на стадию 5, где получается продукция П2. При этом образующиеся отходы (О) подвергаются обработке на стадии 4 и направляются на утилизацию.

Другой вариант улавливания и использования углекислого газа может быть реализован с использованием технологий очистки воды. Ранее нами был разработан и реализован в начале 90-х годов прошлого столетия способ напорной флотации с двумя рабочими жидкостями, одна из которых представляла собой насыщенный раствор углекислого газа [4].

Эта идея впервые была высказана автором статьи в 1989 году и подробно исследована в ряде его работ, особенно в монографии [5], а в широком аспекте возможного применения защищена патентом [6].

Согласно данным автора, при введении одной рабочей жидкости, насыщенной воздухом, образуется пузырек размером в среднем 0,01–0,05 мм. Скорость подъема таких флотоагрегатов 0,13–0,26 мм/с. При добавлении второй рабочей жидкости, насыщенной углекислым газом, образуется комплекс «агрегат – пузырек воздуха (труднорастворимый газ) – пузырек углекислого газа (легкорастворимый газ)». И при этом пузырек углекислого газа коалесцирует через пузырек воздуха.

При таком способе флотации переход флотируемых частиц загрязнений в пену происходит в 2–2,5 раза быстрее. Таким образом, габариты флотационных аппаратов уменьшаются в 1,8 раза. Также происходит уплотнение пенного

слоя, что подробным образом рассмотрено в работе [4].

Другой вариант использования водоочистных технологий связан с применением микроводорослей, использующих в качестве субстрата углекислый газ [7]. При этом требуется почти двукратная масса углекислого газа на единицу биомассы микроводорослей – точнее, этот показатель равен 1,8. Важным является также то, что микроводоросли утилизируют остаточные питательные вещества, в т. ч. азот и фосфор. Такой вариант выращивания микроводорослей на финишной стадии очистки сточных вод способствует повышению эффективности очистки и делает эту технологию более конкурентоспособной.

Подобная технологическая схема (рис. 2), как правило, включает источник образования углекислого газа (рис. 2, поз. 1), сорбцию углекислого газа водным раствором (поз. 2), культивирование микроводорослей (поз. 3), выделение биомассы микроводорослей (4) и узел доочистки воды (5).

Достаточно эффективным оборудованием для утилизации парниковых газов, в т. ч. углекислого газа и метана, являются экоэнергокомбайны [7].

Известны метантенки на основе технологии сбраживания осадка сточных вод [9–12]. Образующийся в них биогаз может использоваться для получения тепла и электроэнергии.

Следует отметить, что известные электрогенераторы включают использование метантенков с системой очистки биогаза и генератором электрической и тепловой энергии.

Недостатком известных экоэнергокомбайнов является невысокий выход биогаза при сбраживании осадков сточных вод, а также отсутствие компактности размещения оборудования.

В этом случае задачей является разработка новой конструкции экоэнергокомбайна, обеспечивающей более высокий выход биогаза.

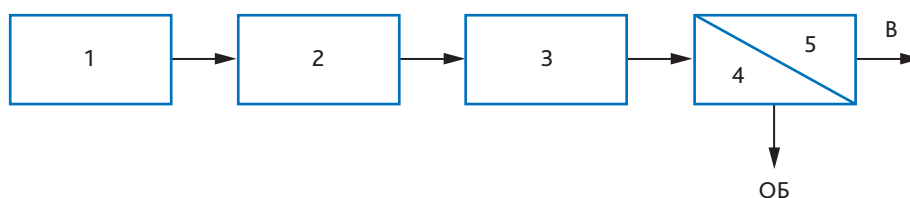


Рис. 2. Принципиальная схема улавливания и утилизации углекислого газа: 1 – источник образования углекислого газа; 2 – сорбция углекислого газа водным раствором; 3 – культивирование микроводорослей; 4 – выделение биомассы микроводорослей; 5 – узел доочистки воды; В – очищенная вода; ОБ – отделенная биомасса

Техническим результатом является повышение эффективности процесса сбраживания осадка с более высоким выходом биогаза.

Решение поставленной задачи и указанный технический результат достигаются тем, что экоэнергокомбайн включает метантенк цилиндрического типа с системой очистки биогаза и генератор с блоками рекуперации электрической и тепловой энергии. Его отличительными особенностями является то, что все составные части расположены в едином корпусе, выполненном из теплоизоляционного композитного материала, наверху корпуса размещен фильтр для улавливания углекислого газа, высота используемого метантенка превышает его диаметр от 3 до 10 раз, а блоки рекуперации электрической и тепловой энергии выполнены из диэлектрического материала [8].

На рис. 3 изображена схема экоэнергокомбайна.

Предлагаемый экоэнергокомбайн включает корпус (8), в котором внутри внизу расположен метантенк (1) цилиндрического типа с системой очистки биогаза (4) и с подводящим и отводящим осадок блоком (2), узел очистки газов, генератор (5) с блоками рекуперации электрической (3) и тепловой (6) энергии, выполненными из диэлектрического материала, а наверху корпуса (8) расположен фильтр для улавливания углекислого газа (7). Используется метантенк цилиндрического типа, высота которого больше его диаметра в 3–10 раз, причем все составные части экоэнергокомбайна расположены в едином корпусе, выполненном из теплозащитного композитного материала.

Принцип работы предлагаемого автором экоэнергокомбайна [8] заключается в следующем. Исходный осадок (ИО) сточных вод подается в метантенк (1) для сбраживания. Для подогрева осадка в метантенк (1) подается теплоноситель из блока (6) рекуперации тепловой энергии. Образующийся при сбраживании осадка биогаз подвергается очистке в системе очистки биогаза (4). Очищенный биогаз далее подается в генератор электрической и тепловой энергии (5). Генератор (5) подает образующуюся электроэнергию в рекуператор (3), а тепловую энергию в рекуператор (6), которые являются источниками дальнейшего использования электрической и тепловой энергии. Избыточные газы выбрасываются в атмосферу через фильтр для улавливания углекислого газа (7). Сброженный осадок (СО) выводится из метантенка на утилизацию.

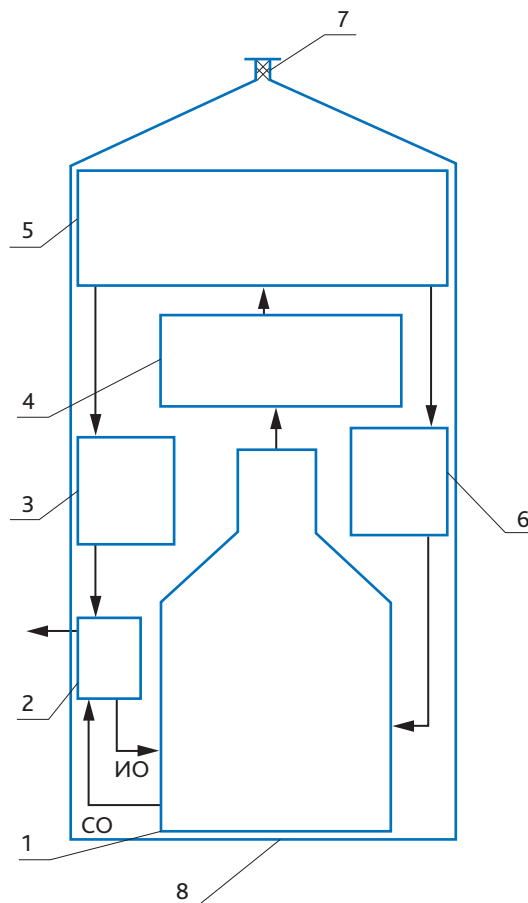


Рис. 3. Схема экоэнергокомбайна

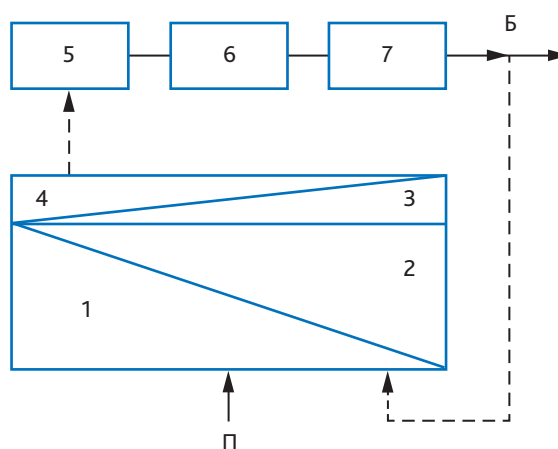


Рис. 4. Схема комбинированной установки с утилизацией углекислого газа: 1 – метановое сбраживание; 2 – разделение газов; 3 – использование метансодержащих газов для генерации электричества и тепла; 4 – аккумуляция углекислого газа; 5 – культивирование микроводорослей; 6 – выделение биомассы микроводорослей; 7 – обезвоживание биомассы микроводорослей; Б – биомасса микроводорослей; П – производственные отходы

Использование предлагаемого экоэнергокомбайна позволяет получить выход биогаза примерно на 10–15 % больше, чем в случае применения известных установок. Кроме того, площадь, занимаемая экоэнергокомбайном, меньше площади известных установок той же производительности в 5–10 раз.

В другом варианте использования биогаза возможно применение комбинированных установок с генерацией тепла и электричества (рис. 4).

Использование подобных установок позволяет получать тепло и электричество без выбросов углекислого газа. Большое значение имеет предварительная обработка осадка перед подачей в комбинированную установку (рис. 5).

Использование такого флотокомбайна с регулируемым гидродинамическим режимом позволяет повысить степень сгущения осадка и улучшить технико-экономические показатели дальнейшего процесса сбраживания осадка.

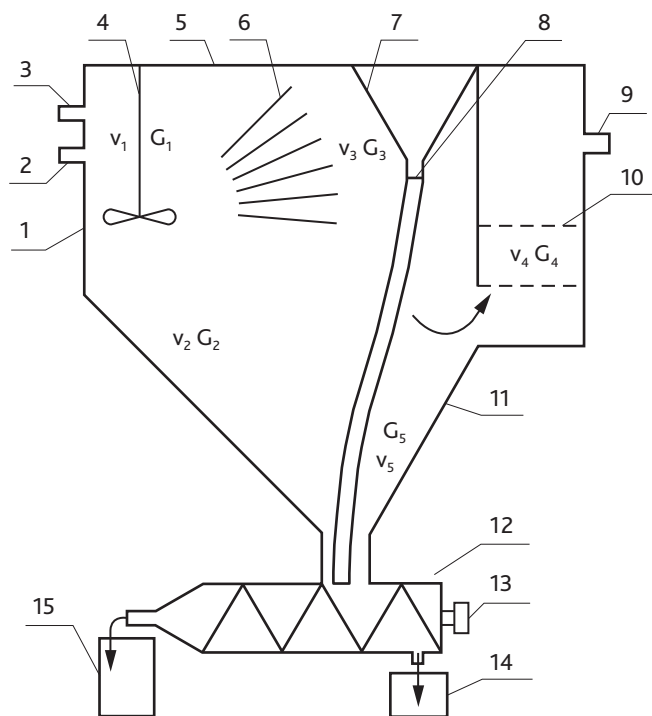


Рис. 5. Схема флотокомбайна с регулируемым гидродинамическим режимом: 1 – корпус флотокомбайна; 2 – патрубок подачи рабочей жидкости; 3 – патрубок подачи грязной воды; 4 – мешалка; 5 – крышка; 6 – пакет расходящихся пластин; 7 – пенный желоб; 8 – трубопровод; 9 – патрубок вывода очищенной воды; 10 – фильтр; 11 – конусная часть отстойника; 12 – шнековый сгуститель; 13 – электропривод; 14 – сборник осветленной воды; 15 – сборник концентрата; V и G – скорость и градиент скорости в различных зонах флотокомбайна

Приводимые сведения позволяют сделать следующие выводы:

- впервые предложены комплексные решения по улавливанию и утилизации углекислого газа с использованием технологий очистки сточных вод;
- впервые предложено комплексное аппаратное оформление процесса по улавливанию и утилизации углекислого газа с использованием экоэнергокомбайнов.

Литература

1. Перевалов С. Д. Анализ способов очистки газов // Совершенствование методов гидравлических расчетов водопропускных и очистных сооружений. – 2020. – Т. 1. – № 1. – С. 97–104.
2. Патент SU 166619. МКИ: В 01 D 53|14. Пр. 1963.03.02, опубл. 1964.11.19, авторы Карл Хози Дил и др.
3. Заявка на изобретение РФ «Способ очистки газовых выбросов от углекислого газа», № 2021137681, пр. 17.12.2021, заявитель и автор Ксенофонтов Б. С.
4. Ксенофонтов Б. С. Очистка сточных вод флотацией с несколькими рабочими жидкостями. – Тверь: изд-во Тверского гос. ун-та, 2021.
5. Ксенофонтов Б. С. Очистка сточных вод: флотация и сгущение осадков. – М.: Химия, 1992.
6. Патент РФ на изобретение «Способ очистки сточных вод» № 2108974, пр. 22.04.1996, рег. 20.04.1998, заявитель и автор Ксенофонтов Б. С.
7. Киселева С. В., Чернова Н. И. Использование микроводорослевых биотехнологий в решении проблем рационального природопользования / Инновационные технологии XXI века для рационального природопользования, экологии и устойчивого развития. – М.: Ноосфера, 2004. – С. 205–217.
8. Патент РФ на полезную модель № 210722 «Экоэнергокомбайн», пр. 12.01.2022, рег. 01.04.2022, заявитель и автор Ксенофонтов Б. С.
9. Ксенофонтов Б. С. Биологическая очистка сточных вод. – М.: Инфра-М, 2020.
10. Ксенофонтов Б. С. Основы микробиологии и экологической биотехнологии: учебное пособие. – М.: ИД «Форум» – Инфра-М, 2015. – С. 163–167.
11. Ксенофонтов Б. С. Обработка осадков сточных вод. – М.: Инфра-М, 2019. – С. 178–181.
12. Ksenofontov B. S. Flotation multistage and generalized models of the process harvesters of Ksenofontov type and for special purpose. – San Francisco, Academus Publ., 2021. – Pt. 1. – DOI: 10.31519/0022-8. – Available at: <https://academus-pub.com/en/наука/monography/2212/view> (date of access 29.06.2022).