

АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАЗДЕЛЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ БИОГАЗА

Биогаз является горючей многокомпонентной газовой смесью, получающейся при брожении биомассы путем разложения органических субстанций ассоциациями микроорганизмов в результате анаэробного микробиологического процесса (метаногенеза). Состав биогаза зависит от особенностей организации процесса переработки органических веществ в биогаз. Как правило, биогаз состоит из 60...70 об. % CH_4 , 30...40 об. % CO_2 , и ~3 об. % H_2S , а также включает незначительные концентрации N_2 , O_2 , NH_3 , толуола, бензола. Наиболее часто на практике применяется мезофильный режим (при температуре 308...310 К), при котором биогаз выходит в водонасыщенном состоянии.

Для использования биогаза в качестве топлива необходимы следующие технологические операции:

- 1) осушка и удаление H_2S в целях предотвращения коррозии оборудования;
- 2) повышение калорийности топливного газа за счет удаления компонентов (кроме CH_4) с низкой теплотворной способностью;
- 3) дальнейшая утилизация удаляемых компонентов из биогаза.

При осушке биогаза методом конденсирования влаги (с использованием теплообменного оборудования) необходимо охлаждать биогаз до температуры точки росы, что энергетически нецелесообразно. Например, при температуре газа на выходе из биореактора 308 К и относительной влажности 5% точка росы достигается при температуре 263 К, что требует использования дорогостоящих хладагентов, в качестве которых, как правило, используются фреон или аммиак.

Охлаждение до точки росы может быть осуществлено также за счет эффекта Джоуля–Томсона при дросселировании газа [1]. Однако расчеты показывают, что для снижения температуры газа от 308 до 263 К требуется его предварительное компримирование как минимум до 4,5 МПа (для метана снижение давления на 0,1 МПа вызывает понижение температуры лишь на 0,4К) [1]. Кроме того, после дросселирования требуется повторное компримирование для обеспечения требуемого давления биогаза в трубопроводе.

Одним из возможных контактных способов удаления из биогаза влаги и других примесей является абсорбционная промывка газовой

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, доцента Е. И. Акулинина, д-ра техн. наук, профессора С. И. Дворецкого, ФГБОУ ВО «ТГТУ».

смеси триэтиленгликолем. Метод предусматривает барботаж газосырца через слой вспененного триэтиленгликоля [1]. Триэтиленгликоль обладает высокой селективностью по отношению к воде. Несмотря на эффективность данного метода осушки, высока опасность детонации газовой смеси (температура осуществления процесса составляет 473 К, что выше температуры вспышки метана на 13 К); это делает его мало пригодным для осушки биогаза.

Для осушки биогаза могут быть использованы способ и установки короткоциклового адсорбции (КЦА), обеспечивающие требуемую глубину осушки до точки росы 233 К при производительности установок до 5000 м³/ч и температуре $T = 293 \dots 303$ К [2].

Возможно также применение метода мембранного разделения биогаза с помощью мембранной технологии. При этом, однако, возникают трудности, связанные с удалением углекислого газа и обеспечением заданной производительности мембранных установок, а также дополнительным компримированием исходной газовой смеси до давления 1 МПа и более, что предъявляет повышенные требования к прочности мембран [3].

Для удаления CO₂ из дымовых газов в промышленности широко используется метод химической абсорбции углеводородами и карбонатами [3]. При этом осуществляется последующее отделение CO₂ от газаносителя путем повторного компримирования до давления 1,2 МПа в блоке очистки и использования дополнительных химических реагентов для разделения углекислого газа и абсорбента, что делает его технически сложным и дорогостоящим.

Известен также способ хемосорбции на водных растворах этаноламинов, который позволяет использовать теплоту химической реакции этаноламинов с CO₂; при этом низкая коррозионная активность этаноламинов дает возможность использовать более концентрированные растворы без применения антикоррозионных добавок. Недостаток метода заключается в необходимости последующей химической регенерации адсорбента [3].

Криогенные методы, такие как криоадсорбционное и криодистилляционное разделение, охлаждение биогаза с выпадением кристаллов CO₂, характеризуются высокими затратами энергии (охлаждение до 78 К) и затратами на хладагент (расход хладагента – до 30 л жидкого азота на 15 м³ биогаза) [3]. При этом используемое оборудование обеспечивает очистку от CO₂ только до остаточных концентраций 4...6 об. %.

Применяемое в промышленности с целью очистки биогаза биологическое обессеривание вызывает окисление метана, так как способ предусматривает превращение сероводорода до элементарной серы

в присутствии кислорода. Это также обуславливает повышенное коррозионное воздействие на технологическое оборудование [4].

Биопромывка реализуется в двухступенчатой установке, состоящей из колонны с наполнителем, обеспечивающей абсорбцию H_2S , разбавленной натриевой щелочью и биореактора, в котором осуществляется регенерация раствора, загрязненного H_2S , посредством добавления атмосферного кислорода. Реализация стадии регенерации адсорбента в отдельной колонне позволяет исключить попадание атмосферного воздуха в продуктовый биогаз, обеспечивая при этом остаточное содержание примесей на уровне природного газа. Реализация метода биопромывки связана с необходимостью расхода существенных объемов чистой воды и натриевой щелочи; при очистке биогаза методом внутреннего химического обесщелачивания необходимо использование дорогостоящих химических веществ (хлоридов и сульфатов железа) [4].

Известен способ получения метана из биогаза путем растворения сопутствующих газов в воде [3]. Однако этот способ имеет следующие недостатки:

- 1) необходимость подачи биогаза для барботирования через слой жидкости под высоким давлением;
- 2) накопление в воде растворенных сернистых и углеродных соединений, которые могут вызвать коррозию оборудования и трубопроводов;
- 3) высокие коэффициенты растворимости в воде сероводорода и диоксида углерода, что препятствует утилизации данной воды без дополнительной очистки. Кроме того, вода является хорошим поглотителем метана, что приводит к большим потерям горючей части биогаза.

Для комплексной очистки биогаза от влаги, H_2S и CO_2 наиболее перспективно применение способа и установок КЦА с многослойным адсорбентом [2]. Изотермы адсорбции CH_4 , CO_2 и H_2S на активных углях типа СКТ и цеолитах типов NaA, NaX и CaA существенно различаются, что позволяет обеспечить остаточные концентрации CO_2 в установках КЦА на уровне 0,01 об. % и ниже [2]. Применение многослойного адсорбента в адсорберах позволяет осушать и очищать газовую смесь в одной и той же установке КЦА, а отходящая газовая смесь, содержащая влагу, CO_2 и H_2S , может быть далее разделена на компоненты при организации каскада из двух или трех установок КЦА. Эффективность данной технологии достигается в случае, если разделяемые компоненты биогаза могут быть сразу использованы в производстве, например, при осуществлении процессов сатурации и сульфитации дефеката в производстве сахара (где образуется свекловичный жом в большом количестве, который может быть переработан в биогаз).

Заметим, что выделение других компонентов из биогаза, большая часть из которых при горении разлагается и не превышает ПДК примесных газов для котельных установок, нецелесообразно.

Список литературы

1. Влажность газов [Электронный ресурс]. – URL : https://studref.com/422773/stroitelstvo/vlazhnost_gazov (дата обращения: 15.09.2022).
2. Моделирование и оптимизация циклических адсорбционных процессов для разделения и очистки газовых смесей : монография / С. И. Дворецкий, Д. С. Дворецкий, Е. И. Акулинин, О. О. Голубятников. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2021. – 212 с.
3. Методы повышения качества биогаза (ч. II) / В. Т. Джамулуев, М. С. Куразова, М. А. Хажмурадов, В. П. Воробьева // Вестник Чеченского государственного университета им. А. А. Кадырова. – 2014.
4. Лосюк, Ю. А. Очистка биогаза до товарного продукта / Ю. А. Лосюк, Г. В. Орендаренко // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2012. – № 4. – С. 70 – 74.

Кафедра «Технологии и оборудование пищевых и химических производств» ФГБОУ ВО «ТГТУ»