

## МЕТОДЫ ОЧИСТКИ И ОБОГАЩЕНИЯ БИОГАЗА ДО БИОМЕТАНА

В. А. ШАПОРЕВ, аспирант

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,  
Горки, Республика Беларусь

**Введение.** Уровень потребления природного газа (ПГ) в Беларуси достаточно высок. Его доля в структуре топливного баланса составляет 75...80 % [1].

Беларусь обеспечивает себя ПГ за счет собственных ресурсов примерно на 20 %, остальной ПГ страна импортирует, преимущественно из России. Уменьшение потребления ПГ и его замещение альтернативами является вопросом национальной безопасности. Одной из возможностей замещения ПГ является производство биометана (БМ).

Рынок использования БМ в качестве моторного топлива практически неограничен. Поскольку свойства БМ близки к свойствам ПГ, использование БМ в качестве моторного топлива возможно в любых пропорциях с ПГ. При этом нет необходимости в модификации транспортных средств или же газовых распределительных сетей.

Производство БМ стремительно развивается в странах ЕС и имеет хорошие предпосылки и перспективы в Беларуси. Биометан можно производить как для внутреннего потребления, так и на экспорт. В настоящее время в Беларуси нет примеров проектов производства БМ, как и не существует нормативной и законодательной базы для его использования [3].

**Основная часть.** Биогаз очищают по трем основным причинам [2]:

- обеспечение соответствия требованиям к свойствам топлива, применяемого в различных типах оборудования (двигатели, котлы, топливные элементы, т. п.);
- увеличение калорийности газового топлива;
- стандартизация газовых топлив.

Методы очистки БГ от примесей зависят от способа его дальнейшей утилизации. К примеру, при использовании БГ для производства тепла в котлах, ограничения касаются лишь концентрации  $\text{H}_2\text{S}$  (не более 1000 ppm). При этом нет необходимости удалять влагу и углекислый газ. В случае применения БГ в кухонных плитах существуют более высокие требования к очистке от  $\text{H}_2\text{S}$ . При сжигании БГ в га-

зопоршневых двигателях существуют определенные требования к содержанию  $\text{H}_2\text{S}$  (обычно не выше 200 ppm), а также к избыточному содержанию влаги (не допускается образования конденсата). Наиболее строгие требования к очистке БГ предъявляются в случае подачи его в сеть природного газа (ПГ) и при прямом использовании в качестве моторного топлива. В этом случае необходимо обогащение БГ до качества ПГ.

Главным компонентом удаления при обогащении БГ до качества БМ является углекислый газ. Технология его удаления является определяющей в общей схеме очистки. Дополнительными этапами очистки являются предварительное удаление либо доочистка от примесей, преимущественно  $\text{H}_2\text{S}$ , влаги, силоксанов, а также возможная коррекция состава БМ по температуре точки росы и теплотворной способности в зависимости от требований применяемого стандарта.

В основе применяемых технологий обогащения биогаза лежат сорбционные, фильтрационные и криогенные методы. Существует 6 основных коммерческих технологий обогащения биогаза (рис. 1) [3]:

- абсорбция водой (водяной скруббер);
- адсорбция при переменном давлении (АПД);
- химическая абсорбция органическими сорбентами;
- физическая абсорбция органическими сорбентами;
- мембранная сепарация;
- криогенная сепарация.

*Абсорбция водой (водяной скруббер).* Растворимость  $\text{CH}_4$  в воде в 25 и 74 раз меньше растворимости  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{S}$  соответственно ( $P=101,325$  Па,  $T=20$  °C) [2]. Эта физическая особенность положена в основу метода разделения газов путем абсорбции в водяном скруббере при повышенном давлении (до 5...10 бар). Десорбция  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{S}$  из воды проходит при снижении давления до атмосферного либо вакуумировании. Для интенсификации десорбции применяют отдувку газов воздухом. Для недопущения биологического обрастания системы водооборота на очистной станции рекомендуется удалять  $\text{H}_2\text{S}$  на предварительной стадии. Пары воды удаляют после стадии обогащения. Особенностью данной технологии является необходимость контроля содержания  $\text{O}_2$  в БМ, попадающего в него с водой после отдувки воздухом. В 2012 году этим методом очищалось 42,4 % биогаза до биометана в мире (рис. 1).



Рис. 1. Технологии очистки биогаза до биометана в мире

*Адсорбция при переменном давлении (АПД).* Суть метода АПД состоит в сорбции молекул  $\text{CO}_2$  на поверхности материалов при повышенном давлении биогаза. В качестве сорбирующих материалов обычно применяют активированный уголь либо молекулярные сита. В процессе удаляются также  $\text{O}_2$  и  $\text{N}_2$ . Регенерация материалов проходит путем десорбции при понижении давления. В данном методе влагу и  $\text{H}_2\text{S}$  удаляют на предварительном этапе (25,6 % в 2012 г.).

*Химическая абсорбция органическими сорбентами (химический скруббер).* Другие органические вещества обладают способностью к селективному химическому связыванию  $\text{CO}_2$  при низком давлении. В технологии химического скруббера используют вещества группы аминов (моноэтаноламин, диметилэтанолламин). Данный метод отличается высокой степенью удаления  $\text{CO}_2$  при незначительных потерях  $\text{CH}_4$ . Регенерация сорбента происходит путем обратной химической реакции, инициируемой обычно нагреванием или вакуумированием. Сероводород удаляют на предварительной стадии. После обогащения БМ осушают и компримируют (19,5 % в 2012 г.).

*Физическая абсорбция органическими сорбентами (физико-органический скруббер).* Некоторые органические вещества способны поглощать  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{S}$  более активно, чем вода. В качестве такого сор-

бента обычно используют полиэтиленгликоль. Основные процессы в данном случае проходят по аналогии с технологией водяного скруббера. Сероводород рекомендуется удалять на предварительном этапе, поскольку при регенерации органического сорбента требуется значительное количество энергии на его удаление (6,1 % в 2012 г.).

*Мембранная сепарация.* Мембранная сепарация бывает двух основных типов: «сухие» мембраны и «мокрые» мембраны. Принцип «сухих» мембран основан на создании разности давлений по обе стороны мембраны, при этом молекулы газов ( $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{S}$ ) проходят сквозь поры мембраны, а молекулы  $\text{CH}_4$  остаются. «Сухие» мембраны работают при высоком (>20 бар) либо среднем давлении (8...10 бар). В случае «мокрых» мембран используют абсорбенты (амины), поглощающие  $\text{CO}_2$ , который диффундирует сквозь мембрану. Процесс проходит при низком избыточном давлении, близком к атмосферному. Перед обогащением БГ компримируют и осушают. После разделения требуется доочистка БМ от  $\text{H}_2\text{S}$  (5,7 % в 2012 г.).

*Криогенная сепарация.* Температура кипения метана  $-161,5^\circ\text{C}$ , а углекислого газа  $-78,5^\circ\text{C}$ . При понижении температуры в условиях избыточного давления  $\text{CO}_2$  переходит в жидкое состояние, когда метан находится еще в газообразном. При этом  $\text{CO}_2$  можно относительно легко отделить от метана. Выделенный таким способом  $\text{CO}_2$  является достаточно чистым и может быть товарным продуктом. На предварительных этапах из биогаза удаляют влагу и сероводород (0,7 % в 2012 г.).

**Заключение.** В данной статье были рассмотрены основные методы очистки и обогащения БГ до БМ: адсорбция при переменном давлении; абсорбция водой (водяной скруббер); физическая абсорбция органическими сорбентами; химическая абсорбция органическими сорбентами; мембранная сепарация; криогенная сепарация.

Следует отметить, что основную позицию по очистке и обогащению БГ до БМ в мире занимает метод абсорбции водой (водяной скруббер) и адсорбция при переменном давлении (рис. 1). Успех применения этих двух методов по очистке и обогащению заключается в наименьших экономических затратах и в простоте метода, к примеру метод физической абсорбции органическими сорбентами очень схож с методом абсорбции водой (водяной скруббер). В методе физической абсорбции органическими сорбентами более активно поглощается  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{S}$ , чем в методе водяного скруббера, отличие этих методов в том, что в качестве такого сорбента, как вода, в методе физической абсорб-

ции органическими сорбентами обычно используют полиэтиленгликоль, который в разы дороже стоимости воды. С учетом простоты и эффективности удаления  $\text{CO}_2$  из биогаза на первое место можно было бы отнести такой метод, как криогенная сепарация, но в связи с большими материальными затратами для постройки необходимых криогенных установок этот метод почти не применяют.

Хотелось бы отметить еще тот факт, что для всех методов по очистке и обогащению БГ до БМ рекомендуется удалять  $\text{H}_2\text{S}$  на предварительном этапе, так как требуется значительное количество энергии на его удаление.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Альтернативные виды топлива для двигателей / А. Н. Карташевич [и др.]. – Горки: БГСХА, 2012. – С. 376.
2. Fredric Bauer, Christian Hulteberg, Tobias Persson, Daniel Tamm. Biogas upgrading – Review of commercial technologies / SGC Rapport 2013:270.
3. P. G. T. Fogg and C. L. Young, Eds., IUPAC Solubility Data Series, Vol. 32, Hydrogen Sulfide, Deuterium Sulfide, and Hydrogen Selenide, Pergamon Press, Oxford, England, 1988.

УДК 637.116-83

### РОБОТИЗИРОВАННОЕ ДОЕНИЕ КОРОВ

А. С. СИМЧЕНКОВ, ассистент

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,  
Горки, Республика Беларусь

**Введение.** Роботизированная ферма – один из оптимальных вариантов как для животных, так и для человека. Добровольное доение в щадящем режиме помогает коровам сохранить хорошее настроение, здоровье и продуктивное долголетие. Чем лучше себя чувствуют животные, тем выгоднее человеку: растут надои, увеличивается выработка. На сегодняшний день роботизированное доение привлекает многие белорусские хозяйства.

**Основная часть.** Произвести анализ существующего оборудования для роботизированного доения коров, перспективы роботизированного доения в Республике. Производство молока в нашей стране стремительно развивается. Большие средства вкладываются во внедрение современных промышленных и инновационных технологий. Одни хозяйства переходят на беспривязное содержание с доением в доильных