

**Заключение.** Разработан модернизированный конвейер комбайна проходческо-очистного «УРАЛ 61А», в котором предполагается использование одного редуктора взамен двух. Внедрение предложенной разработки позволит значительно снизить металлоёмкость, вес и габариты механизма, а также повысить производительность. Для обоснования технико-экономических преимуществ по сравнению с существующими конструкциями были произведены соответствующие кинематические, силовые и прочностные расчёты конвейера комбайна и основных его сборочных единиц и деталей.

#### Список цитируемых источников

1. Бувечич, В. В. Совершенствование исполнительных органов проходческо-очистных комбайнов «Урал» / В. В. Бувечич. — М. : Перм. нац. исслед. политехн. ун-т, 2016. — 175 с.
2. Трифанов, М. Г. Оценка нагруженности приводов проходческо-очистных комбайнов для выбора технически обоснованных режимов работы в реальных условиях эксплуатации / М. Г. Трифанов. — М. : Перм. нац. исслед. политехн. ун-т, 2017. — 166 с.
3. Курмаз, Л. В. Детали машин. Проектирование : справ. учеб.-метод. пособие / Л. В. Курмаз, А. Т. Скойбеда. — М. : Высш. шк., 2005. — 309 с.

УДК 621.1:628.336.6

В. А. Шапоров

Учреждение образования «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия», Горки

### МЕТОДЫ ОЧИСТКИ И ОБОГАЩЕНИЯ БИОГАЗА ДО БИОМЕТАНА

**Введение.** Уровень потребления природного газа (далее — ПГ) в Беларуси достаточно высок. Его доля в структуре топливного баланса составляет 75...80 % [3].

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 (далее — 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.** Целью статьи является обзор и анализ существующих методов очистки и обогащения биогаза (далее — БГ) до БМ. Автором статьи были изучены и проанализированы публикации, затрагивающие методы очистки и обогащения БГ до БМ.

Биогаз очищают по трем основным причинам: обеспечение соответствия требованиям к свойствам топлива, применяемого в различных типах оборудования (двигатели, котлы, топливные элементы, т. п.); увеличение калорийности газового топлива; стандартизация газовых топлив [1].

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  $H_2S$  (не более 1 000 ppm). При этом нет необходимости удалять влагу и углекислый газ. В случае применения БГ в кухонных плитах существуют более высокие требования к очистке от  $H_2S$ . При сжигании БГ в газопоршневых двигателях существуют определенные требования к содержанию  $H_2S$  (обычно не выше 200 ppm), а также к избыточному содержанию влаги (не допускается образование 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  $H_2S$ , 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 шесть основных коммерческих технологий обогащения БГ (рисунок 1) [1]: 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 раза меньше растворимости  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{S}$  соответственно ( $P = 101,325 \text{ Па}$ ,  $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ) [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 обрас- тания 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 очища- лось 42,4 % БГ до БМ в мире (см. рисунок 1).

*Адсорбция при переменном давлении.* Суть метода АПД состоит в сорбции молекул  $\text{CO}_2$  на поверхности материалов при повышенном давлении БГ. В качестве сорбирующих материалов обычно применяют активиро- ванный 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 году).

*Химическая абсорбция органическими сорбентами (химический скруббер).* Другие органические вещества обладают способностью к селективному химическому связыванию  $\text{CO}_2$  при низком давлении. В технологии хи- мического скруббера используют вещества группы аминов (моноэтаноламин, диметилэтаноламин). 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 году).

*Физическая абсорбция органическими сорбентами (физико-органический скруббер).* Некоторые органи- ческие вещества способны поглощать  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{S}$  более активно, чем вода. В качестве такого сорбента обычно используют полиэтиленгликоль. Основные процессы в данном случае проходят по аналогии с технологией водяного скруббера. Сероводород рекомендуется удалять на предварительном этапе, поскольку при регенера- ции органического сорбента требуется значительное количество энергии на его удаление (6,1 % в 2012 году).

*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 году).

*Криогенная сепарация.* Температура кипения метана —  $161,5 \text{ }^\circ\text{C}$ , а углекислого газа —  $78,5 \text{ }^\circ\text{C}$ . 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 БГ удаляют влагу и сероводород (0,7 % в 2012 году).

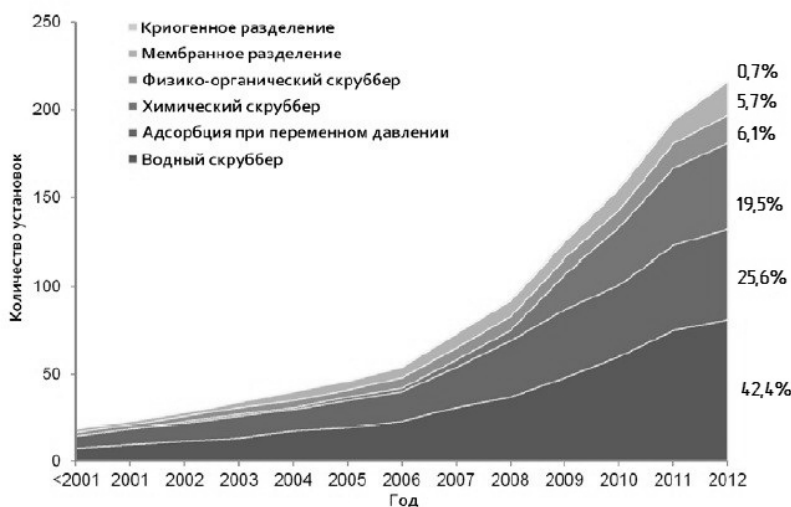


Рисунок — Технологические методы очистки БГ до БМ в мире

**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 выделить, что основную позицию по очистке и обогащению БГ до БМ в мире занимает метод абсорбции водой (водяной скруббер) и адсорбции при переменном давлении (см. рисунок 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 поглощаются  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{S}$ , чем в методе абсорбции водой. Отличие этих методов в том, что в качестве такого сорбента, как вода, в методе физической абсорбции органическими сорбентами обычно используют полиэтиленгликоль, который в разы дороже стоимости воды. По своей простоте и эффективности удаления  $\text{CO}_2$  из БГ на первое место можно было бы отнести криогенную сепарацию, 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.

#### Список цитируемых источников

1. Daniel Tamm. Biogas upgrading / F. Bauer [et al.] // Review of commercial technologies / SGC Rapport. — 2013. — P. 270.
2. 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.
3. Альтернативные виды топлива для двигателей / А. Н. Карташевич [и др.]. — Горки : БГСХА, 2012. — С. 376.