DOI 10.18454/PMI.2016.3.403

Нефтегазовое дело

УДК 662.6.9:662.95

СОВРЕМЕННЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ПОЛУЧЕНИЯ ГАЗА

И.В.ИВАНОВА[1], **В.М.ШАБЕР**[2]
[1]*Санкт-Петербургский горный университет, Россия*
[2]*Bio Eco Power, Стокгольм, Швеция*

Реализация энергетических проектов крупными компаниями связана с рисками и сложностью выбора технологии инвестирования, какая из них будет наиболее благоприятной. Государства и международные организации влияют на инвестиционный климат в энергетическом секторе, покрывая производство электроэнергии различными формами налогов (сборов) или введением системы поддержки, что усложняет базу затрат. Такого рода действия благоприятствуют возобновляемым источникам энергии, в то время как ископаемое топливо страдает, например, в результате налогов на выбросы двуокиси углерода.

Цель исследования – выявить условия и обосновать возможность использования в качестве современной перспективы получение и использование газа из отходов и продуктов жизнедеятельности человека: пищевые, растительные отходы, продукты жизнедеятельности.

Результаты исследования – доказана экономическая целесообразность разработки топливных ячеек (ТЯ) на «сыром» биометане и выявлены возможности использования таких установок в территориальной близости к потребителю, что делает их идеальными для использования в качестве независимого источника электроэнергии и тепла.

Ключевые слова: использование биометана, топливная ячейка, отходы продуктов жизнедеятельности человека.

Как цитировать эту статью: Иванова И.В. Современные перспективы получения газа / И.В.Иванова, В.М.Шабер // Записки Горного института. 2016. Т.219. С.403-411. DOI 10.18454/PMI.2016.3.403

Введение. Согласно последним исследованиям, из отходов и продуктов жизнедеятельности человека можно получить достаточное количество энергии для энергопитания 138 млн домов. Исследователи Университета ООН по изучению воды, окружающей среды и здоровья (UNUINWEH) предполагают, что потенциально биогаз, созданный из отходов жизнедеятельности людей со всего мира, может быть эквивалентен природному газу на сумму 12,5 млрд долларов.

Кроме того, создание тщательно разработанной системы сбора отходов жизнедеятельности человека в таких развивающихся странах, как Индонезия, Бразилия и Эфиопия с целью производства метана для чистой энергии также решает дополнительные проблемы плохих санитарных условий.

Исследования UNUINWEH ООН направлены на решение двух важных вопросов: загрязнение окружающей среды из-за отсутствия санитарно-технических систем в развивающихся странах и необходимость создания энергетической системы с низким уровнем затрат.

Разработка системы канализации в новом сообществе чрезвычайно дорога, поэтому ученые UNUINWEH обратились к исследованию биогаза. Биогаз является ценным источником чистой энергии. Предполагается, что из анаэробного газа, произведенного с использованием отходов человеческой жизнедеятельности, в общинах развивающихся стран можно производить биогаз на сумму 200-376 млн долларов ежегодно.

«Это начало разговора. Действительно, важно то, что мы видим наши отходы как возможность, а не как бремя», – сказала в своем заявлении Зафар Адиль, руководитель UNUINWEH [3-7].

С таким мнением согласны далеко не все. Одни аналитики считают развитие традиционной энергетики более правильным решением в кратко- и среднесрочной перспективе, позволяющим быстрее электрифицировать население. Другие сомневаются в потенциальной способности возобновляемых источников пробить себе дорогу без щедрой внешней поддержки.

По данным Всемирного банка, строительство электросети в малонаселенных регионах, таких как Мали, обойдется не менее чем в 19 тыс. долларов за километр. Эти затраты на прокладку линий через труднодоступную местность никогда не окупятся ввиду недостатка спроса, обусловленного малочисленностью населения.

Лидс, город в Йоркшире, на реке Эйр, третий по величине город Великобритании, скоро станет центром по превращению отходов в энергию благодаря новой электростанции по переработке и энергетической утилизации отходов, строительством которой занимается компания «Veolia».

Только в США ежегодно в сточные воды попадает около 12 трлн галлонов отходов. Это грязный процесс, который также оставляет массивный углеродный след. Обработка промышленных сточных вод – очистка от нечистот заводами и электростанциями – требует еще больше энергии.

DOI 10.18454/PMI.2016.3.403

В замкнутых пространствах, например на орбитальных космических станциях, остро стоит проблема утилизации отходов жизнедеятельности человека. Процесс утилизации должен проходить быстро, а вещества, которые при этом образуются, не должны быть едкими, токсичными или угнетать рост растений, а еще лучше, если они окажутся полезными. Решение проблемы предложили специалисты Института биофизики СО РАН Сибирского федерального университета Института катализа им. Г.К.Борескова СО РАН, работу ученых поддержал интеграционный проект № 5.

В нашем кратком исследовании показаны перспективы эффективного и дешевого использования отходов и продуктов жизнедеятельности человека для получения электроэнергии. Возможно, в не столь отдаленном будущем человечество откроет новые, более эффективные, источники энергии, но также должна быть решена проблема использования отходов жизнедеятельности человека.

Когда-нибудь наши теперешние предположения по поводу применения тех или иных средств, необходимых для проживания человека, уничтожение полезных ископаемых – сжигается практически все, что может гореть, отравляется окружающая среда, абсолютно неэффективно используются различные виды энергии, формируется парниковый эффект и т.д. – окажутся банальными.

Цены на энергетические ресурсы постоянно растут и отражаются на бюджете каждого участника экономической системы, что стимулирует специалистов к поискам новых источников энергии. Когда цены падают, взоры обращаются к вопросу охраны окружающей среды – применению экологических технологий. Энергия ветра, солнечная энергия, электрогибридные автомобили, топливные элементы, биодизельное топливо, этанолит и другие источники альтернативной энергии по своему экономическому воздействию могут оказаться непредсказуемыми. Почти все, что может быть сожжено, применено или трансформировано теоретически находит свою нишу в альтернативных источниках энергии.

На сегодняшний день есть сырье, которое всегда будет сопутствовать человеческому существованию и оно практически цены не имеет – только утилизация: пищевые, растительные отходы, продукты жизнедеятельности, включая шлам и пр.

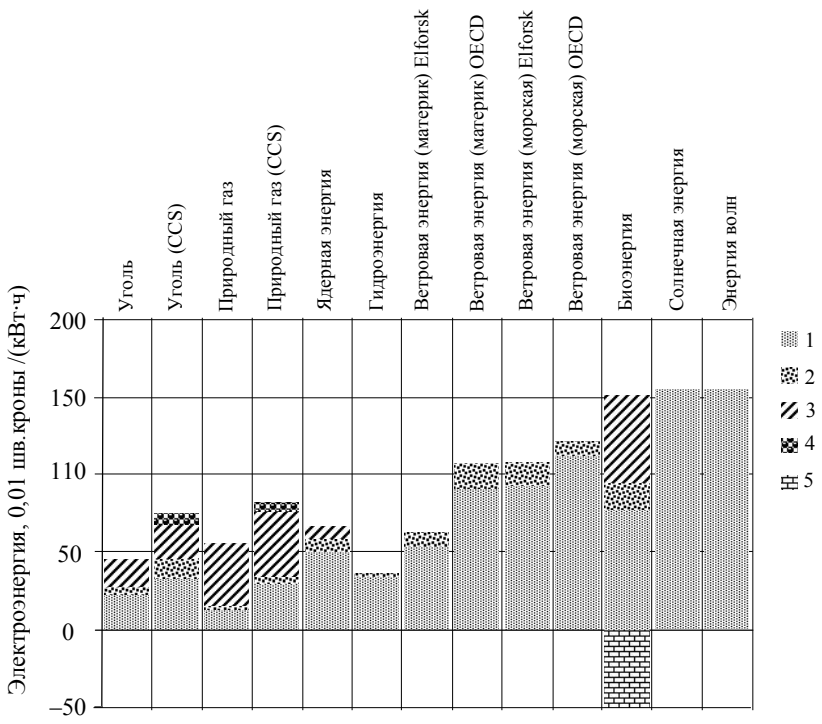


Диаграмма затраты на производство электроэнергии при 10 %-ной ренте

1 – капиталовложения; 2 – обслуживание и сервис; 3 – горючее; 4 – транспорт и хранение CO_2; 5 – излишки тепла

Нас интересует получение электроэнергии из отходов и продуктов жизнедеятельности. Рассмотрим диаграмму, представленную на рисунке [13, 23]. Следует взглянуть на стоимость получения электроэнергии, данные приведены в шведских кронах.

Затраты на производство электроэнергии при создании новых проектов определить сложно, а также достаточно трудно выбрать, на какие технологические инвестиции сделать ставку. Стоимость расчетов должна быть сопоставима с затратами на производство и быть комплексна.

Применяется множество параметров записи условий для различных проектов. Нет единого способа управления выбором самого дешевого проекта для всех ситуаций. Диаграмма (см.рисунок) содержит сведения о ранее опубликованных сметах расходов и факторах, оказывающих влияние на затраты. Стоимость электроэнергии на новых предприятиях колеблется в широких пределах и зависит от формы производства и распределения.

Постоянные и переменные затраты отличаются. Ядерная и гидроэнергетика требуют больших инвестиций, основная часть производства в этих случаях состоит из капитальных затрат. Таким образом, затраты подвержены изменениям процентных ставок и задержек выплат, следовательно, возникают дополнительные расходы на персонал и оборудование, также инвесторы вынуждены будут пла-

DOI 10.18454/PMI.2016.3.403

тить длительное время проценты без какой-либо прибыли. Время до фактического начала строительства влечет за собой затраты на планирование и процесс выдачи разрешений. С другой стороны, у ядерной и гидроэнергетики низкие амортизационные (переменные) затраты. Время эксплуатации больше, чем, например, у ветровой турбины или солнечной батареи. В случае ГЭС и АЭС капитальные затраты больше в сравнении с ветровой энергией и энергией солнечных батарей. Однако у последних сроки ввода в эксплуатацию и общий объем инвестиций меньше, поэтому эти источники питания менее чувствительны к изменению курса.

На электростанциях, работающих на ископаемом топливе, преобладают переменные затраты. Большое количество производств газовой и значительная доля угольной энергетики зависят от расходов на топливо. Следовательно, эти производства чувствительны к изменениям цен на топливо. Получается, что ценовой прогноз контролирует выбор энергии и инвестиций.

Атомная энергетика менее чувствительна к временным колебаниям цены на топливо. Стоимость топлива является лишь небольшой частью от общей стоимости, и экспорт урана часто осуществляется долгосрочными контрактами. Количество урана, покупаемое на слотовом рынке, обычно незначительно.

Прибыль от ветровой энергии и гидроэнергетики лишь косвенно затронута изменениями цен на топливо. Заводы по переработке нефти, газа и угля (ископаемое топливо) представляют собой маргинальное производство электроэнергии, что имеет значение для предельной (максимально целесообразной) цены на электроэнергию. Если текущая цена газа ниже, чем ожидалось в инвестиционном решении для возобновляемых источников энергии, теряется прибыль, а в худшем случае – останавливается производство. Решающими являются также долгосрочные цены на природный газ, что важно для конкурентной способности электростанций, использующих газ.

Распределение между постоянными (капитальными) и переменными затратами влияет на необходимый объем работы. Когда дело доходит до источников питания с высоким уровнем постоянных издержек (ядерной и ветровой энергии), рассчитывают на скорое компенсирование капиталовложений. Таким образом, скорость утилизации становится весьма важным фактором. Также влияют плановые и внеплановые отключения, вызванные техническим обслуживанием и непредвиденными проблемами (для энергии ветра и солнечной энергии – скорость ветра и солнечной радиации).

Для электростанций, использующих газ, картина иная. Переменные затраты доминируют, и это может быть решающим при запуске предприятия. Ядерные реакторы также будут функционировать даже при низкой цене на электроэнергию. Перспективная цена на электроэнергию является одной из основных неопределенностей, связанных с ядерной энергетикой.

Данные для гидроэнергетики и биоэнергетики взяты из [23], для энергии на ископаемом и ядерном топливе – из [13]. Что касается ветроэнергетики, то данные, приведенные в исследованиях, очень разные. Выводы по работам [13, 23] отражены в диаграмме (см. рисунок).

Показатели расходов относятся к шведским или европейским условиям. Чаще всего указывают на строительство новых электростанций и сдачу их в эксплуатацию в 2016 г. без учета налогов, сборов, помощи или субсидий.

При рассмотрении значений на диаграмме нужно учитывать следующее.

Ископаемые источники энергии. В угольной энергетике используются хорошо разработанные технологии, которые позволяют производить дешевое электричество, если деятельность близка к шахте, как в США и Австралии, что снижает затраты в дальнейшем. Недостатки угольной промышленности в сочетании чувствительности к ценам на топливо и воздействии на окружающую среду, в основном, от выбросов двуокиси углерода. Альтернативой будет работа с так называемой CCS-технологией (*carbon capture and storage*), которая, как ожидается, позволит отделить около 85 % образовавшегося диоксида углерода. По сравнению с обычным углем электростанции, работающие по технологии CCS, приведут к снижению эффективности, при этом инвестиционные затраты будут выше. Электрический КПД преобразования составит 7-10 % [1, 23], а это в свою очередь повышает и расходы на топливо. Увеличение инвестиций увеличивает время ввода в строй новых электростанций по сравнению с обычными электростанциями, использующими технологии сжигания ископаемого топлива. Значит, электростанции, использующие CCS-технологии, чувствительны к колебаниям процентных ставок. Стоимость транспортировки и хранения двуокиси углерода сильно зависят от расстояния и объема хранения.

Будут ли предприятия с отделением двуокиси углерода конкурировать с традиционными электростанциями, работающими на угле или нет, зависит от будущих затрат на выбросы при разрешенных квотах на выбросы и приемлемости хранения. Если инвестор выберет технологию переработки угля CCS, то всегда возможна неопределенность ставок по выбросу, что работает в пользу CCS, но неясность всегда рассматривается как что-то негативное при наличии инвестиционного режима.

DOI 10.18454/PMI.2016.3.403

Заводам, работающим на газовом топливе, благоприятствуют низкие инвестиционные затраты и высокая гибкость. Доля газового топлива за последнее время сильно выросла в странах Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР). Недостатком является чувствительность к ценам на топливо и наличие газа, а также риск существенных расходов при использовании в качестве базовой нагрузки. Аналогичным является сравнение переработки угля с CCS-технологией и электростанциями, работающими на природном газе с CCS-технологией. Эффективность (КПД) падает, инвестиционные затраты по сравнению с работой без CCS-технологии растут, а увеличение рентабельности будет зависеть от будущей цены и квоты на выбросы. Тем не менее выбросов углекислого газа при сжигании газа меньше, чем при сжигании угля. Значит, CCS-технология будет применена на электростанциях, работающих на угле, вероятнее, чем на электростанциях, работающих на газе.

При анализе затрат на постройку и производство электростанций, работающих на угле, и заводов, работающих на природном газе, с CCS-технологией следует помнить, что существуют новые технологии, которые еще не были продемонстрированы в полном масштабе. Это означает неопределенность относительно издержек и затрат. Методы разделения в настоящее время проходят испытания на опытных установках обработки угля в Европе и планируются к демонстрации примерно к 2016 г., а затем смогут использоваться в коммерческой деятельности в 2020 г. в соответствии с [9-12, 13, 23].

Ядерная энергия. Как уже отмечалось, ядерная энергетика является капиталоемким источником энергии, требует больших инвестиций и сравнительно длительного периода строительства, что делает технологию чувствительной к различным уровням процентных ставок. В то же время реактор производит много электроэнергии, обладает долгое время низкими переменными затратами.

Техническая (экономическая) жизнь атомной электростанции оценивается в 40-60 лет. Атомная энергетика, как один из источников энергии, обладает наименьшими затратами на производство. Незначительные выбросы двуокиси углерода и тенденции к снижению зависимости от ископаемых видов топлива привели ряд стран к рассмотрению возможности строительства новых реакторов. В последние годы много реакторов было построено во всем мире. Это хорошо зарекомендовавшая себя технология. Тем не менее опыт нового строительства в последние десятилетия неадекватен, особенно в Европе и США. Это означает повышенный риск для инвесторов и кредиторов. С другой стороны, реакторы продолжают возводиться уже в таких странах, как Южная Корея и Япония, с малыми задержками и хорошими результатами.

Как показано на диаграмме (см.рисунок), стоимость обработки отходов невелика – постоянные затраты профинансированы заблаговременно и стоимость обработки сравнительно мало сказывается на стоимости произведенных киловатт-часов. Во всех случаях предусмотрено условие, что реактор должен быть серийного производства, например в случае с ОРЭД, на финской АЭС в г.Олкилуото. Хороший опыт и «крутая кривая обучаемости» среди поставщиков создают условия снижения стоимости расходов на будущие проекты во время «обратного» риска в результате нежелания потенциальных инвесторов расширения строительства. Отрасль работает непрерывно, предусматривая меры сведения к минимуму риски задержек в строительных проектах, тем самым снижая затраты на электроэнергию. Например, применение несколькими странами согласованных (стандартных) конструкций реакторов позволило упростить процесс лицензирования. Ядерная энергия является одним из источников, которые могут масштабироваться с точки зрения размера и количества реакторов. Расположение нескольких реакторов локально упрощает планирование строительства и размещение инфраструктуры, получение разрешений, тогда как количество функций инфраструктуры может быть разделено.

Возобновляемые источники энергии. Гидроэнергетика, как и ядерная энергетика, является капиталоемким источником энергии с низкими переменными затратами. Производство сильно зависит от характеристик конкретных участков и размера гидроэлектростанции. Поэтому трудно обобщать, присутствуют и существенные различия в затратах, указанных в разных странах. Самые низкие показатели были зарегистрированы для огромных гидростанций в Китае. Швеция имеет ограниченные возможности для новой гидроэнергетики. Значения на диаграмме (см.рисунок) отражают показатели строительства новой гидроэлектростанции в Швеции мощностью 90 МВт [23].

Успешные проекты по ветроэнергетике обусловлены наличием различных программ помощи и субсидий. Наибольшая часть затрат на производство продукции состоит из капитальных затрат для оффшорной ветроэнергетики, так как на материке для них необходим дополнительный прочный фундамент. Техническое обслуживание на море требует бóльших расходов, связанных с высоким износом, и как результат – возрастает количество неисправностей.

DOI 10.18454/PMI.2016.3.403

Для ветровой электростанции мощностью 20×2 МВт, установленной на материке, стоимость электроэнергии около 4,5 центов /(кВт·ч) (5 %-ная рента) и 6,5 центов /(кВт·ч) (10 %-ная рента), в то время как для установленной на море мощностью 150×5 МВт стоимость больше – 0,8 центов /(кВт·ч) (5 %-ная рента) и 1,1 центов /(кВт·ч) (10 %-ная рента) [23].

Показатели прогнозируемых расходов на генерирование электроэнергии, приведенные для различных европейских стран, значительно выше; в среднем для береговых ветроэлектростанций 8,0-11 центов/(кВт·ч) (5-10 %-ная рента) и 0,10-0,14 центов /(кВт·ч) (5-10 %-ная рента) для морской установки. Однако, как отмечается в [23], страны с особо благоприятными условиями для ветроэнергетики – Северные страны: Швеция, Норвегия, Дания и Великобритания – не участвовали в исследовании. По оценке Гуннара Фредрикссона (Шведская ветроэнергетическая ассоциация), можно достичь стоимости электроэнергии 5,5 центов /(кВт·ч) при благоприятных условиях. Он считает, что стоимость электроэнергии установленной на море ветровой электростанции в условиях Швеции будет, по крайней мере, 10 центов /(кВт·ч).

Недостаток ветровых станций – это источник не постоянного, но прерывистого электроснабжения, который должен быть задействован в системе, где необходимо наличие и других источников питания, чтобы компенсировать колебания в электроснабжении. Использование газа для балансировки мощности дорого. Стоимость подобных систем в приведенные выше значения не включена. Северные страны используют дешевую гидроэнергетику для регулирования мощности. Однако существует предел мощности регулирования охваченных гидроэнергетической системой ветровых станций при экстенсивном увеличении ветра. Этот вопрос необходимо рассматривать, хотя это может повлечь за собой дополнительные расходы из-за износа гидроэлектростанций. Более того, конструкция для ветровых турбин часто устанавливается в весьма удаленных местах, т.е. требуются большие финансовые затраты на расширение электросети, что также не включено в состав расходов на производство электроэнергии. Ветроэнергетика в последние годы страдает от «перегретого» рынка поставщиков и большой конкуренции за прибыльные места. Все это способствовало резкому повышению цен. Что будет дальше – предстоит увидеть.

Биоэнергетика. В отличие от других возобновляемых источников энергии происходит сгорание биомассы или сжигание биотоплива. Даже если топливо может стоить недорого, но транспортировка и другая обработка влияют на добавленную стоимость и на стоимость производимого тепла, используемого для отопления через так называемый тепловой кредит, который понижает затраты на производство. Данные взяты из работ [14-21, 23] для установки мощностью 30 МВт.

Энергия волн и солнечных батарей. Солнечные батареи представляют собой хорошо отработанную технологию и сегодня генерируют электричество во всей Европе. В ОЭСР (OECD) [23] приводится средняя стоимость для Европы – 20 центов /(кВт·ч) (5 %-ная рента) и 30 центов /(кВт.)/ч) (10 %-ная рента). Для энергии волн и солнечных батарей стоимость производства электроэнергии превышает 10 центов /(кВт·ч). Значительные различия наблюдаются в предполагаемых инвестиционных затратах и степени использования. Петтер Сестрем (компания «Direct Energy») утверждает, что стоимость солнечной энергии в Швеции будет немного выше – 25-35 центов /(кВт·ч), так как условия для функционирования солнечных батарей немного хуже, чем в Центральной или Южной Европе, кроме того, в Швеции меньше опыта по использованию этого типа установок. Развитие технологии приведет к снижению материальных затрат и повышению эффективности производственных процессов, но это в будущем. В большинстве стран необходимы различные формы систем поддержки для поднятия конкурентоспособности солнечных элементов.

Использование энергии волн – относительно новая технология, которая требует продолжения исследований для разработки и создания различных структур. Скорее всего, придется искать другие материалы вместо стали, сократить инвестиционные затраты. Необходимо всестороннее тестирование, чтобы проверить наличие мест локализации и получить представление о техническом обслуживании и эксплуатационных расходах. Можно предположить, что использование энергии волн снизит затраты, соответствующие генерирующей, в том числе и оффшорной, ветроэнергетике, что позволит последней стать конкурентоспособной. Когда это произойдет, сказать трудно. На сегодняшний день стоимость использования энергии волн в несколько раз выше разумной.

Налоги, **сборы и субсидии.** Государства и международные организации влияют на инвестиционный климат в энергетическом секторе, покрывая производство электроэнергии с различными формами налогов (сборов) или введением системы поддержки. Это усложняет расчет базовых затрат. Как правило, такого рода действия благоприятствуют возобновляемым источникам энергии, в то время как ископаемое топливо страдает, например, в результате квот на выброс двуокиси углерода. Для использования возобновляемых источников в Швеции создана система сертификатов, а многие другие

DOI 10.18454/PMI.2016.3.403

страны применяют feed-in-тарифы. Это означает, что производителю гарантируется фиксированная цена на электроэнергию, подаваемую в сеть. Шведские электростанции выплачивают также налоги на недвижимость, которые особенно велики для гидроэнергетики. Атомные электростанции платят налог на рассчитанную мощность реакторов. Схемы платы и субсидий меняются во времени и по месту, и всегда есть неопределенность будущих изменений.

Как отмечалось выше, никогда не исключается возможность появления новых возобновляемых или каких-либо иных источников энергии, но что же делать с «сопутствующими» человеческой жизнедеятельности продуктами? Шламовыми водами? В настоящее время подавляющее количество биореакторов, производящих биометан (синтетический метан), направлено на производство «облагороженного» метана для автоиндустрии. Однако стоимость производства такого газа составляет 120-130 % от стоимости бензина! Неужели есть кто-то, покупающий горючее по этой цене без государственных субсидий лишь потому, что этот газ считается экологическим?

В таблице представлены три стадии получения синтетического биометана. Несложно заметить, что «сырой» метан после первой фазы процесса стоит 25 % от стоимости (в кронах на кубический метр при нормальных температуре и давлении) полного производственного цикла синтетического метана. Надо ли его дальше облагораживать и почему его нельзя использовать?

Стадии получения синтетического биометана

Стадии	Процесс, кроны / м^3		
	Первая фаза	Вторая фаза	Третья фаза
Биореактор сбраживания исходной массы	1,6	2,4	4,0
Сушильные аппараты	0,01	0,15	0,16
Вентиляторы	0,06	0,02	0,08
Суммарная стоимость	1,67	2,57	6,81

Сырой газ содержит 60-76 % метана CH_4, 25-30 % двуокиси углерода CO_2, и воду H_2O [8, 22, 24-27]. Метан как газ абсолютно неактивен и с ним надо что-то делать…

Теперь к вопросу получения электричества. Какой эффект можно получить при сжигании газового горючего в дизельном моторе или в обычном, нагруженном на генератор? Неужели 45-50; 60; 80 %? Нет, лишь жалких 15-20 %, если грамотно рассчитать КПД. А вот значения 45-50; 60; 80 % и даже выше получить можно в топливной ячейке.

Принцип работы топливной ячейки (ТЯ – Fuel Cell) был изобретен еще в 1836 г. и продолжает относиться к водородной энергетике. Почти 200 лет! И для топливной ячейки, как считается, лучше всего использовать водород… А если не только? В настоящее время известно множество углеводородов, которые можно использовать в ТЯ [1, 3-7, 9-12, 14-21, 24-27]. В чем же проблема?

Производство электроэнергии в Европе обычно осуществляется государственными, а не частными компаниями, производящими не только электроэнергию, но и газ [2]. Так решили правительства многих стран. Но стоимость синтетического биометана настолько высока, что зачастую заводы предпочитают сжигать сырой газ, называя это «экологическим способом переработки отходов». В Швеции существует даже термин «факел» – сжигать на факеле сырой газ.

Если мы производим сырой газ – метан, то для ТЯ необходимо и достаточно производить риформинг (конвертирование), а это затратное предприятие, если у вас нет собственного производящего газ заводика. За счет снижения КПД часть электроэнергии отбирается для риформинга. Нет необходимости работать ночью, когда тарифы на электричество ниже.

Содержание метана в сыром газе ниже, но эффективность ТЯ оправдывает затраты, и еще немаловажный фактор – вы ничего не сжигаете и, проводя пароуглеродный риформинг, используете двуокись углерода для получения электроэнергии в этой же ТЯ и не платите налог на двуокись углерода.

Эта ситуация наблюдается в Европе, но в странах Африки, Юго-Восточной Азии положение просто катастрофическое, и хотелось бы, чтобы наше исследование заинтересовало компании этих стран.

В таблице приведена относительная стоимость метана от «сырого» до «облагороженного» – синтетического биометана, цены – в шведских кронах за 1000 л за 1 м^3 – в форме газа при нормальных температуре и давлении.

Цена на газ зависит от множества нелинейных переменных. Например, разница в стоимости сушки после первого сбраживания и заключительной обработки составляет 16 раз. Такие показатели примерно одинаковы для многих стран.

DOI *10.18454/PMI.2016.3.403*

Отметили важный момент – увеличение объема газа, как и увеличение скорости его производства, вполне достижимо даже сегодня в 8-10 раз в тех же самых реакторах без существенных капиталовложений, что пропорционально снижает его себестоимость и стоимость.

Следует отметить особо – для того, чтобы предприятие было рентабельным, сырье должно быть дешевым. Некоторые из современных единиц измерений можно назвать псевдоистинными и вводящими в заблуждение – такие, как киловатт-час на кубический метр относятся лишь к бензину. Один кубический метр метана содержит теоретически идеальное количество энергии – 9,7 кВт, которое можно было бы использовать с КПД 100 %. Это соответствует энергии, содержащейся в 1,11 л бензина. Спекуляции продолжаются десятилетия. Мы должны измерять объем газа в кубических метрах, но не в киловатт-часах на кубический метр!

Заключение. Новая технология использования метана в сыром газе и топливной ячейки оправдывает затраты: позволяет, ничего не сжигая и проводя пароуглеродный риформинг, использовать двуокись углерода для получения электроэнергии. Показатели экономической целесообразности: цены на сырье – только оплата транспорта; налоги на двуокись углерода близки к нулю; капиталовложения – уже сделаны; транспортировка газа – отсутствует; необходим сервис и обслуживание топливных ячеек, который упрощен из-за модульности конструкции; излишки тепла возвращаются в виде обогрева и применяются в производстве.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Маслов И.В.* Высокотемпературные топливные ячейки – когенерационные источники энергии будущего // Турбины и дизели. 2006, январь-февраль. С.4-6.

2. Министерство экономического развития: 2015 г. о текущей ситуации в экономике Российской Федерации после первой половины июля 2015 года [Электронный ресурс]. URL:http://do.gendocs.ru/docs/index-65809.html#2145316

3. *Achten W.M.J.* Jatropha bio diesel production and use / W.M.J.Achten, L.Verchot, Y.J.Franken, E.Mathijs,V.P.Singh, R.Aerts and B.Muys // Biomass and Bioenergy. 2005. № 32(12). P.1063-1084.

4. *Ahmed M.* Methanol and formic acid electrooxidation on nafion modified Pd/Pt{1 1 1}: The role of anion specific adsorption in electrocatalytic activity: Electrocatalysis / M.Ahmed, G.A.Attard, E.Wright, J.Sharman // Catalysis Today. 2013. Vol. 202. P.128-134.

5. *Almazán-Sánchez P.T.* Wastewater treatment of methyl methacrylate (MMA) by Fenton's reagent and adsorption: International Symposium on Advances in Hydroprocessing of Oil Fractions (ISAHOF 2013) / P.T.Almazán-Sánchez, I.Linares-Hernández, V.Martínez-Miranda, V.Lugo-Lugo R.M., G.Fonseca-Montes de Oca // Catalysis Today. 2014. Vol.220-222. P.39-48.

6. Amin Roohul Hydrogen and syn gas production via CO_2 dry reforming of methane over Mg/La promoted Co–Ni/MSU-S catalyst / Roohul Amin, Bingsi Liu, Zhao Biao Huang, Yin Chuan Zhao // International Journal of Hydrogen Energy Available, online 12 December, 2015.

7. *Bandarenka A.* Electrocatalysis for sustainable energy conversion or electrocatalysis today: Electrocatalysis / A.Bandarenka, Karl J.J.Mayrhofer // Catalysis Today. 2016. Vol.262. P.1-10.

8. *Benjaminsson J.* Portable power sources / J.Benjaminsson, B.Goldschmidt, R.Uddgren. 2010. P.3-10. www.energiaskor.se/pdf-dokument/Rapport %201109.pdf

9. *Bournay L.* New heterogeneous process for biodiesel production: A way to improve the quality and the value of the crude glycerine produced by biodiesel plants / L.Bournay, D.Casanave, B.Delfort, G.Hillion, J.A.Chodorge // Catalysis Today. 2005. № 106 P.190-192.

10. *Braunchweig B.* Electrocatalysis: A direct alcohol fuel cell and surface science perspective: Electrocatalysis / B.Braunchweig, D.Hibbitts, M.Neurock, A.Wieckowski // Catalysis Today. 2013. Vol.202. P.197-209.

11. *Chen W.* Manganese oxide catalyzed methane partial oxidation in trifluoroacetic acid: Catalysis and kinetic analysis / W.Chen, J.A.Kocal, T.A.Brandvold, M.L.Bricker, S.R.Bare, R.W.Broach, N.Greenlay, K.Popp, J.T.Walenga, S.S.Yang, J.J.Low // Catalysis Today. 2009. Vol.140. Iss.3-4. 2009. P.157-161

12. *Camacho B.R.* Enhancing oxygen reduction reaction activity and stability of platinum via oxide-carbon composites: Electrocatalysis / B.R.Camacho, C.Morais, M.A.Valenzuela, N.Alonso-Vante // Catalysis Today. 2013. Vol.202. P.36-43.

13. Electricity Research. Electricity from new plants (Sweden) 2007. 40 p. http://www.elforsk.se/varme/Slutrapport%202383% 20Final% 20rev_080114_inkl%20Bilagor.pdf

14. *Fang Ya-Hui.* Theoretical modeling of electrode/electrolyte interface from first-principles periodic continuum solvation method: Electrocatalysis / Ya-Hui Fang, Guang-Feng Wei, Zhi-Pan Liu // Catalysis Today. 2013. Vol.202. P.98-104.

15. *González A.V.* Full-scale autothermal reforming for transport applications: The effect of diesel fuel quality: Selected Contributions of the International Symposium of Catalysis for Clean Energy and Sustainable Chemistry (CCESC2012) / A.V.González, L.J.Pettersson // Catalysis Today. 2013. Vol.210. P.19-25.

16. *Hernández-Hipólito P.* Biodiesel production with nanotubular sodium titanate as a catalyst: International Symposium on Advances in Hydroprocessing of Oil Fractions (ISAHOF 2013) / P.Hernández-Hipólito, M.García-Castillejos, E.Martínez-Klimova, N.Juárez-Flores, A.Gómez-Cortés, Tatiana E.Klimova // Catalysis Today. 2014. Vol.220-222. P.4-11.

17. *Holladay J.D.* An overview of hydrogen production technologies / J.D.Holladay, J.Hu, D.L.King, Y.Wang // Catalysis Today. 2009. Vol.139. Iss.4. P.244-260.

18. Hydrogen Production: Selected papers from the Hydrogen Production Symposium at the American Chemical / Society 234-th National Meeting & Exposition, August 19-23, 2007, Boston.

19. *Hye Won Jeong, Hyunwoong Park.* Carbon-catalyzed dye-sensitization for solar hydrogen production: Selected contributions of the 4th International Conference on Semiconductor Photochemistry (SP4) / Hye Won Jeong, Hyunwoong Park // Catalysis Today. 2014. Vol.230. P.15-19.

DOI *10.18454/PMI.2016.3.403*

20. *Liu X.* Hydrogen and methane production by co-digestion of waste activated sludge and food waste in the two-stage fermentation process: Substrate conversion and energy yield // X.Liu, R.Li, Min Ji, Li Han // Bioresource Technology. 2013. Vol.146. P.317-323.

21. *Massanet-Nicolau J.* Use of real time gas production data for more accurate comparison of continuous single-stage and two-stage fermentation / J. Massanet-Nicolau, R. Dinsdale, A. Guwy, G. Shipley // Bioresource Technology. 2013. Vol.129. P.561-567.

22. Optimal integration of energy at the Combined Energy Plant in Norrkoping (Sweden) -Integration of steam, hot water and district heat to biogas plants 2010. 168 p. www.oecd

23. Projected costs of generating electricity. Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). 8 February, Paris, 2010. 104 p. www.oecd

24. *Kucernak A. R.J.* Facile synthesis of palladium phosphide electrocatalysts and their activity for the hydrogen oxidation, hydrogen evolutions, oxygen reduction and formic acid oxidation reactions: Electrocatalysis / A.R.J.Kucernak, K.F.Fahy, V.N.Naranammalpuram Sundaram // Catalysis Today. 2015. Vol.262. P.48-56.

25. *van Spronsen M.A.* High-pressure operando STM studies giving insight in CO oxidation and NO reduction over Pt(1 1 0): Heterogeneous Catalysis and Surface Science / M.A. van Spronsen, G.J.C. van Baarle, C.T.Herbschleb, J.W.M.Frenken, I.M.N.Groot // Catalysis Today. 2015. Vol.244. P.85-95.

26. *Wang Ming-Xi.* Catalytically oxidation of NO into NO_2 at room temperature by graphitized porous nanofibers: Catalysis for Low-carbon Energy Development and Environment Quality Control / Ming-Xi Wang, Zheng-Hong Huang, Ke Shen, Feiyu Kang, Kaiming Liang // Catalysis Today. 2013. Vol.201. P.109-114.

27. *Wang Jingbo.* Catalytic steam gasification of pig compost for hydrogen-rich gas production in a fixed bed reactor / Jingbo Wang, Bo Xiao, Shiming Liu, Zhiquan Hu, Piwen He, Dabin Guo, Mian Hu, Fangjie Qi, Siyi Luo // Bioresource Technology. 2013. Vol.133. P. 127-133.

Авторы: **И.В.Иванова**, *д-р техн. наук*, *профессор*, *rilala_spb@mail.ru* (*Санкт-Петербургский горный университет*, *Россия*), **В.М.Шабер**, *канд. техн. наук*, *руководитель проекта*, *viktor.schaber@bioecopower.se* (*Bio Eco Power*, *www.bioecopower.se*, *Швеция*).

Статья принята к публикации 18.01.2016.

MODERN METHOD FOR GAS PRODUCTION

I.V.IVANOVA[1], **V.M.SCHABER**[2]
[1]*Saint-Petersburg Mining University, Russia*
[2]*Bio Eco Power*, *www.bioecopower.se*, *Stokgol'm*, *Sweden*

It is usually very difficult for any company to being an energy related project to completion. Not only is the endeavor associated with great financial risks, but it is also very difficult to decide which technological solution is the best longterm investment. Furthermore, government bodies shape the investment climate in the energy sector by imposing taxes and fees, which also increases expenditures. Fortunately these market conditions act favorably on energy production based on renewable sources.

The purpose of this investigation is to establish the conditions that enable production of biogas by processing waste products of human consumption: food waste, plants, common household trash and even excrement.

There is compelling evidence that the production of fuel cells by utilizing raw methane is at the very least economically justifiable. The design of the power plant itself makes it an ideal independent source of electricity and heat, which can be located in close proximity to the consumers.

Key words: biomethane, fuel cell, waste.

***How to cite this article*:** Ivanova I.V., Schaber V.M. Modern method for gas production. Zapiski Gornogo instituta. 2016. Vol.219, p.403-411. DOI 10.18454/PMI.2016.3.403

REFERENCES

1. *Maslov I.V.* Vysokotemperaturnye toplivnye jachejki – kogeneracionnye istochniki jenergii budushhego (*High-temperature fuel cell – cogeneration energy sources of the future*). Turbiny i dizeli. 2006, janvar'-fevral', p.4-6.

2. Ministerstvo jekonomicheskogo razvitija: 2015 g. o tekushhej situacii v jekonomike Ros-sijskoj Federacii posle pervoj poloviny ijulja 2015 goda (*Ministry of Economic Development: About the current situation in the economy of the Russian Federation after the first half 2015 of July*). [Jelektronnyj resurs]. Available at: http://do.gendocs.ru/docs/index-65809.html#2145316

3. *Achten W.M.J.*, *Verchot L.*, *Franken Y.J.*, *Mathijs E.*, *Singh V.P.*, *Aerts R.*, *Muys B.* Jatropha bio diesel production and use. Biomass and Bioenergy. 2005. № 32(12), p.1063-1084.

4. *Ahmed M.*, *Attard G.A.*, *Wright E.*, *Sharman J.* Methanol and formic acid electrooxidation on nafion modified Pd/Pt{1 1 1}: The role of anion specific adsorption in electrocatalytic activity: Electrocatalysis. Catalysis Today. 2013. Vol. 202, p.128134.

5. *Almazán-Sánchez P.T.*, *Almazán-Sánchez P.T.*, *Linares-Hernández I.*, *Martínez-Miranda V.*, *Lugo-Lugo V.R.M.*, *Fonseca-Montes de Oca G.* Wastewater treatment of methyl methacrylate (MMA) by Fenton's reagent and adsorption: International Symposium on Advances in Hydroprocessing of Oil Fractions (ISAHOF 2013). Catalysis Today. 2014. Vol.220-222, p.39-48.

6. *Roohul Amin, Bingsi Liu, Zhao Biao Huang, Yin Chuan Zhao*. Amin Roohul Hydrogen and syn gas production via CO_2 dry reforming of methane over Mg/La promoted Co-Ni/MSU-S catalyst. International Journal of Hydrogen Energy Available online 12 December, 2015.

DOI *10.18454/PMI.2016.3.403*

7. *Bandarenka A.*, *Mayrhofer Karl J.J.* Electrocatalysis for sustainable energy conversion or electrocatalysis today: Electrocatalysis. Catalysis Today. Vol.262. 2016, p.1-10.

8. *Benjaminsson J. Goldschmidt B.*, *Uddgren R.* Portable power sources. 2010, p.3-10. www.energiaskor.se/pdf-dokument/Rapport %201109.pdf

9. *Bournay L.*, *Casanave D.*, *Delfort B.*, *Hillion G.*, *Chodorge J.A.* New heterogeneous process for biodiesel production: A way to improve the quality and the value of the crude glycerine produced by biodiesel plants. Catalysis Today. 2005. N 106, p.190-192.

10. *Braunchweig B.*, *Hibbitts D.*, *Neurock M.*, *Wieckowski A.* Electrocatalysis: A direct alcohol fuel cell and surface science perspective: Electrocatalysis. Catalysis Today. 2013. Vol.202, p.197-209.

11. *Chen W.*, *Kocal J.A.*, *Brandvold T.A.*, *Bricker M.L.*, *Bare S.R.*, *Broach R.W.*, *Greenlay N.*, *Popp K.*, *Walenga J.T.*, *Yang S.S.*, *Low J.J.* Manganese oxide catalyzed methane partial oxidation in trifluoroacetic acid: Catalysis and kinetic analysis. Catalysis Today. 2009. Vol.140. Iss.3-4. 2009, p.157-161.

12. *Camacho B.R.*, *Morais C.*, *Valenzuela M.A.*, *Alonso-Vante N.* Enhancing oxygen reduction reaction activity and stability of platinum via oxide-carbon composites: Electrocatalysis. Catalysis Today. 2013. Vol.202, p.36-43.

13. Electricity Research. Electricity from new plants (Sweden) 2007. 40 p. http://www.elforsk.se/varme/Slutrapport%202383% 20Final %20rev_080114_inkl %20Bilagor.pdf

14. *Fang Ya-Hui.*, *Wei Guang-Feng*, *Liu Zhi-Pan*. Theoretical modeling of electrode/electrolyte interface from first-principles periodic continuum solvation method: Electrocatalysis. Catalysis Today. 2013. Vol.202, p.98-104.

15. *González A.V.*, *Pettersson L.J.* Full-scale autothermal reforming for transport applications: The effect of diesel fuel quality: Selected Contributions of the International Symposium of Catalysis for Clean Energy and Sustainable Chemistry (CCESC2012). Catalysis Today. 2013. Vol.210, p.19-25.

16. *Hernández-Hipólito P.*, *García-Castillejos M.*, *Martínez-Klimova E.*, *Juárez-Flores N.*, *Gómez-Cortés A.*, *Klimova Tatiana E.* Biodiesel production with nanotubular sodium titanate as a catalyst: International Symposium on Advances in Hydroprocessing of Oil Fractions (ISAHOF 2013). Catalysis Today. 2014. Vol.220-222, p.4-11.

17. *Holladay J.D.*, *Hu J.*, *King D.L.*, *Wan Y.*, *Herbschlebg C.T.* An overview of hydrogen production technologies. Catalysis Today. 2009. Vol.139. Iss.4, p.244-260.

18. Hydrogen Production: Selected papers from the Hydrogen Production Symposium at the American Chemical. Society 234-th National Meeting & Exposition, August 19-23, 2007, Boston.

19. *Hye Won Jeong*, *Hyunwoong Park.* Carbon-catalyzed dye-sensitization for solar hydrogen production: Selected contributions of the 4th International Conference on Semiconductor Photochemistry (SP4). Catalysis Today. 2014. Vol.230, July 2014, p.15-19.

20. *Liu X.*, *Li R.*, *Ji Min*, *Han Li.* Hydrogen and methane production by co-digestion of waste activated sludge and food waste in the two-stage fermentation process: Substrate conversion and energy yield. Bioresource Technology. 2013. Vol.146, p.317-323.

21. *Massanet-Nicolau J.*, *Dinsdale R.*, *Guwy A.*, *Shipley G.* Use of real time gas production data for more accurate comparison of continuous single-stage and two-stage fermentation. Bioresource Technology. 2013. Vol.129, February 2013, p.561-567.

22. Optimal integration of energy at the Combined Energy Plant in Norrkoping (Sweden) – Integration of steam, hot water and district heat to biogas plants 2010, p.168 www.oecd

23. Projected costs of generating electricity. Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). 8 February, Paris, 2010, 104 p. www.oecd

24. *Kucernak A. R.J.*, *Fahy K.F.*, *Naranammalpuram Sundaram V.N.* Facile synthesis of palladium phosphide electrocatalysts and their activity for the hydrogen oxidation, hydrogen evolutions, oxygen reduction and formic acid oxidation reactions: Electrocatalysis. Catalysis Today. 2015. Vol.262, p.48-56.

25. *M.A.van Spronsen*, *G.J.C. van Baarle*, *Herbschleb C.T.*, *Frenken J.W.M.*, *Groot I.M.N.* High-pressure operando STM studies giving insight in CO oxidation and NO reduction over Pt(110): Heterogeneous Catalysis and Surface Science. Catalysis Today. 2015. Vol.244, p.85-95.

26. *Wang Ming-Xi.*, *Zheng-Hong Huang*, *Ke Shen*, *Feiyu Kang*, *Kaiming Liang.* Catalytically oxidation of NO into NO_2 at room temperature by graphitized porous nanofibers: Catalysis for Low-carbon Energy Development and Environment Quality Control. Catalysis Today. 2013. Vol.201, p.109-114.

27. *Wang Jingbo*, *Bo Xiao, Shiming Liu*, *Zhiquan Hu*, *Piwen He*, *Dabin Guo*, *Mian Hu*, *Fangjie Qi*, *Siyi Luo.* Catalytic steam gasification of pig compost for hydrogen-rich gas production in a fixed bed reactor. Bioresource Technology. 2013. Vol.133, p.127-133.

Authors: **I.V.Ivanova**, *Dr. of Engineering Sciences*, *Professor*, *rilala_spb@mail.ru* (*Saint-Petersburg Mining University, Russia*), **V.M.Schaber**, *PhD in Engineering Sciences*, *project director*, *viktor.schaber@bioecopower.se* (*Bio Eco Power*, *www.bioecopower.se*, *Sweden*)

Manuscript Accepted 18.01.2016.