

Copyright © 2021 by Cherkas Global University



Published in the USA
European Journal of Renewable Energy
Has been issued since 2016.
E-ISSN 2454-0870
2021. 6(1): 21-40

DOI: 10.13187/ejre.2021.1.21
<https://ejre.cherkasgu.press>



Collection and Utilization of Biogas

Marina S. Mitina ^{a,*}

^a Academy of Management and Production, Moscow, Russian Federation

Abstract

The article deals with the problems of collection and utilization of biogas. The types of biogas, its main sources, the composition and patterns of biogas formation, the dependence of the biogas yield on the type of organic source are analyzed. The problems of climate change, global warming and the greenhouse effect are considered. Possibilities for the collection and utilization of biogas are being explored. A system for biological treatment of domestic wastewater is being developed. The advantages and disadvantages of modern biogas processing plants are analyzed. The problems of animal waste processing in Russia and the possibility of building biogas parks are considered, using the example of Germany.

Due to the fact that industrial gas production is developing very actively, production volumes are increasing. This negatively affects the state of the ecosystem. As a result of the ever-increasing consumption of natural resources and, in particular, natural gas, emissions of carbon dioxide into the atmosphere have increased dramatically. This led to a sharp increase in the greenhouse effect. Which in turn leads to climate change no longer locally, but on a planetary scale: melting glaciers, an increase in the water mass of the oceans, global warming. Therefore, the urgency of the problem of collecting and utilizing biogas is increasing every day.

Keywords: methane, greenhouse effect, global warming, greenhouse effect, environmental pollution, global climate change.

1. Введение

Биогаз – это смесь газов, образующаяся при анаэробном гниении, бактериальном разложении сложных органических веществ, входящих в состав отработавшей биомассы. Поступление биогаза в атмосферу крайне нежелательно, так как основным компонентом в его состав входит метан, являющийся парниковым газом. Выбросы метана, даже в незначительных количествах, вносят существенный вклад в усиление парникового эффекта, приводящее к глобальному потеплению и сопутствующим климатическим изменениям. При относительно небольшой концентрации, метан в атмосфере даёт существенный тепловой форсинг на климат.

Все газовые примеси атмосферы, в молекуле которых содержится 3 и более атомов, относятся к типу парниковых. Выбросы метана в два раза превышают поступление всех остальных «парниковых» газов от различных источников, уступая лишь объемам эмиссии углекислого газа ([Рисунок 1](#)).

* Corresponding author

E-mail addresses: mitina@amp1996.ru (M.S. Mitina)

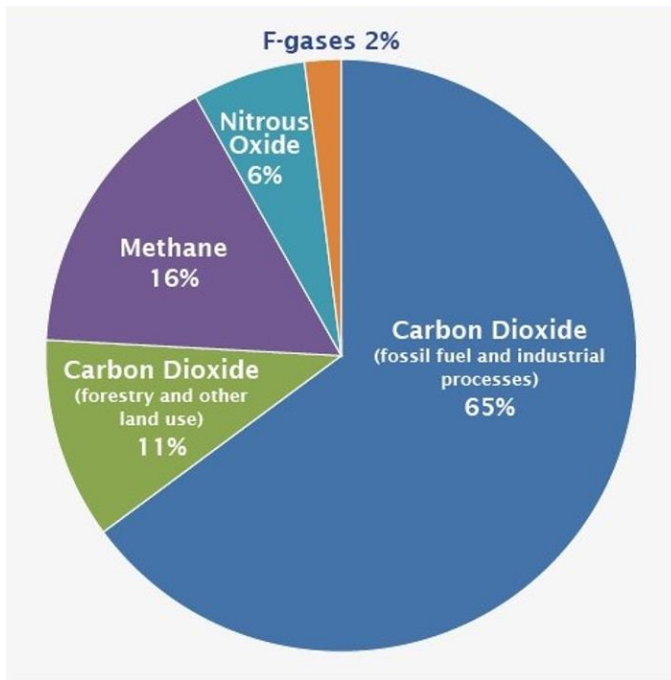


Рис. 1. Процентное соотношение выбросов различных парниковых газов (F – фреоны) (Al-Yasiri, Gécz, 2021)

Концентрация метана в тропосфере сейчас составляет 1,813 ppm (Кароль, Решетников, 2014). По сравнению с доиндустриальным периодом (18 век) содержание метана в воздухе увеличилось более чем в 2,5 раза. Дисбаланс между поступлением CH_4 в атмосферу и его стоком составляет 60 млн. тонн в год при общем объёме круговорота 250 млн. тонн в год (Kvenvolden, Rogers, 2005). Таким образом, содержание метана в воздухе непрерывно увеличивается, потому что он является «долгоживущей» газовой примесью. Среднее время его пребывания в атмосфере составляет 12 лет (Дзюба и др., 2012). Поскольку метан относится к углеводородам, это гидрофобное вещество, малорастворимое в воде. Поэтому его вынесение из атмосферы с осадками крайне затруднено.

Примерно 90% от всего годового стока метана удаляется абиогенным путём за счёт реакций окисления его гидроксил-радикалом OH (Кароль, Киселев, 2006). Гидроксил-радикал вследствие фотодиссоциации водяного пара постоянно присутствует в атмосфере в концентрациях от 500 000 до 5 000 000 молекул/см³ (Коровицкий, Тоцкая, 2017). Примерно 6% метана поднимается в стратосферу и разрушается там при взаимодействии с электронно-возбуждёнными коротковолновым солнечным излучением атомами кислорода, хлора и фтора. На долю окисления метана аэробными почвенными микроорганизмами приходится менее 4% его количества.

Влияние метана на парниковый эффект обусловлено сильным поглощением создаваемого поверхностью Земли длинноволнового инфракрасного излучения (ДИИ), в районе $\lambda = 7,66$ мкм (Белан, Креков, 2012). Вследствие поглощения теплоты, метан, присутствующий в приземном слое воздуха, создаёт положительный форсинг на климат, вызывающий повышение среднеглобальной температуры системы «тропосфера — поверхность». В настоящее время, антропогенная «добавка» к форсингу на климат, вызванная «парниковым» эффектом составляет 2,63 Вт/м² (Shindell et al., 2013). Основной форсинг создаёт углекислый газ: 1,7 Вт/м², а на долю метана приходится примерно 0,5 Вт/м². Однако, с учётом концентрации в атмосфере, получается, что для CO_2 удельный форсинг составляет 0,004 Вт/(м² ppm), а для метана 0,28 Вт/(м² ppm).

Таким образом, метан влияет на глобальное потепление в гораздо большей степени (с учётом концентрации), чем самый известный «парниковый» газ – CO_2 . Согласно прогнозу, приведённому в работе (Folberth et al., 2012) к 2050 году тепловой форсинг метана на климат возрастёт более чем в два раза. Если рассматривать интервалы времени до века

(ста лет), то время жизни метана с его двенадцатью годами оказывается значительно выше, чем у CO_2 . Сейчас в климатических моделях учитывают даже выделение CH_4 от крупного рогатого скота в животноводстве (Chianese, Rotz, 2009), поэтому разработаны даже индивидуальные газоуловители для животных.

Высокая стоимость природного газа делает рентабельным сбор и накопление биогаза даже от источников с небольшими объемами выделения. Так, согласно сообщениям деловых средств массовой информации (Лещенко, 2022), цена на газ в Европе 21 декабря 2021 года превысила отметку \$2300 за 1 тыс. куб. м впервые за всё время биржевых торгов. Стоимость январского (2022 г.) фьючерса на хабе TTF в Нидерландах на пике росла на 24 %, достигая \$ 2,3 тыс. за тысячу кубометров. В этот же день к 17:30 мск цены январских фьючерсов по индексу TTF составили \$ 2120, что на 23,5 % выше расчетной цены 20 декабря (\$ 1716,7).

Поэтому вопросы, связанные с улавливанием и утилизацией биогаза, в настоящее время крайне актуальны и экономически обоснованы.

2. Обсуждение и результаты Образование и состав биогаза

Антропогенными источниками биогаза являются агропромышленные технологии: разложение органических отходов, выращивание риса на водно-болотных угодьях, желудочная ферментация у сельскохозяйственных животных. Биогаз также образуется при анаэробном разложении твердых бытовых отходов и городских сточных вод.

Все процессы образования биогаза представляют собой анаэробную ферментацию. С точки зрения химии происходит не прямое окисление исходных и промежуточных веществ в бескислородных условиях. В ходе нее происходит гидролиз сложных органических веществ, их растворение и разложение до простых компонентов, с последующей газификацией их значительной части, а также выпадение нерастворимой фазы в осадок (активный ил). Этот осадок потом можно использовать как удобрение для подкормки растений.

Ферментация называется метановой, так как она осуществляется метанообразующими бактериями, а одним из основных конечных продуктов разложения органических веществ является метан. При оптимальных условиях выход газа, которого на выходе может быть от 50 до 90 %, осуществляется в несколько фаз. Процесс достаточно подробно изложен в литературе, например, (Шейна, Сысоев, 2009), (Ткаченко и др., 2017) и др.

Первая фаза, впервые предложенная Беркером (Шейна, Сысоев, 2009) представляет собой кислотную или водородную ферментацию, разложение сложных молекул до простых веществ: органических кислот (уксусная, муравьиная, молочная, масляная, пропионовая и т.д.), спиртов (метиловый, этиловый, пропиловый, бутиловый и т.д.), газов (углекислый газ, водород, сероводород, аммиак), аминокислот, нитратов, глицерина и т.д. Этот распад осуществляется обычными сапрофитными анаэробами, которые широко распространены в природе, в том числе и те, которые содержатся в выделениях человека. Наиболее оптимальная ферментация происходит при $\text{pH} = 4,5-7,0$.

К сапрофитам относятся маслянокислые, протеинолитические, липолитические и прочие бактерии, грибки и дрожжи. Целлюлозу перерабатывают представители видов *Ruminococcus*, *Bacteroides*, *Cellobacterium* и др.; крахмал – *Succinomonas*, *Butyrivibrio* и др.; белки – *Bifidobacterium* и *Selenomonas*. Выделение органических кислот осуществляют бактерии: *Syntrophomonas* sp.; *Clostridium* sp.; *Hydrogenobacter thermophilus*; *Hydrogenovibrio marinus*; *Helicobacter pylori* и др. (Егорова и др., 2008). Кислое брожение на финальной стадии характеризуется обильным образованием и выделением широкого спектра карбоновых кислот, что проявляется в виде закисления среды и падения pH до 5-4,5. Процесс сопровождается появлением неприятного гнилостного запаха.

На второй фазе (щелочная или метановая ферментация) метанообразующие бактерии осуществляют дальнейшее разложение веществ, образовавшихся в первой фазе. Процесс идет с выделением CH_4 , CO_2 , N_2 , H_2 и H_2S . В отличие от бескислородного протекания первой фазы, мета-новые бактерии являются строгими анаэробами. Они более чувствительны к кислороду и другим окислителям, чем большинство других бактерий. Отсюда, предотвратить выделение метана можно путем значительного количества нитрат-ионов в сточных водах.

Хотя схема Баркера не имеет строгого термодинамического обоснования. Поэтому с этой схемой категорически не согласны ряд исследователей, выделяющие три или даже больше фаз (Шейна, Сысоев, 2009). Но представление о двух фазах достаточно наглядно, удобно для контроля, а самое важное, подтверждается экспериментальными данными.

При содержании O_2 примерно 0,01 мг/л происходит гибель всех метановых бактерий. Из анаэробных бактерий только археобактерии способны продуцировать метан, чья вся энергия метаболизма направлена на его образование, как основного конечного продукта. Они не только осуществляют химическое преобразование энергии, но и перерабатывают субстрат, созданный всеми мертвыми бактериями. Археобактерии образуют CH_4 из простых органических веществ, таких как CO_2 , кислот и спиртов на основе ряда низших углеводов.

В работах выделяется около полусотни бактерий, осуществляющих метаногенез: *Methanobacterium*, *Methanogenium*, *Methanobrevibacter*, *Methanosphaera*, *Methanothermus*, *Methanococcus*, *Methanocorpusculum*, *Methanoculleus*, *Methanofollis*, *Methanopyrus*, *Methanoregula*, *Methanosaeta*, *Methanosarcina*, *Methanolobus*, *Methanospirillum*, *Methanothrix* и многие другие. Их обычно подразделяют на две группы, различающихся разным количеством CH_4 на выходе.

Примерно 28 % этого газа производится путем связывания углекислого газа, метанола, муравьиной кислоты и других органических соединений водородом (бактерии используют эту смесь как субстрат роста):



Метановые бактерии первой группы являются единственными на Земле организмами, способными утилизировать диоксид углерода без хлорофилла и поглощения солнечной энергии.

Но более важным субстратом, дающим на выходе до 72 % метана, является другой механизм. Вторая группа метанобактерий производит расщепление уксусной кислоты:



Способность метановой группы бактерий использовать C проявляется в простых органических и неорганических средах, таких как карбоновые кислоты (муравьиная, уксусная, пропионовая), спирты (метиловый, этиловый) и газы (H_2 , CO_2 и CO) – то есть, содержащие только те вещества, которые образуются в первой фазе брожения. Поскольку каждый вид метанобактерий способен разрушать определенные органические вещества, в целом специально подобранное сообщество метанобактерий может трансформировать практически все продукты первой фазы брожения.

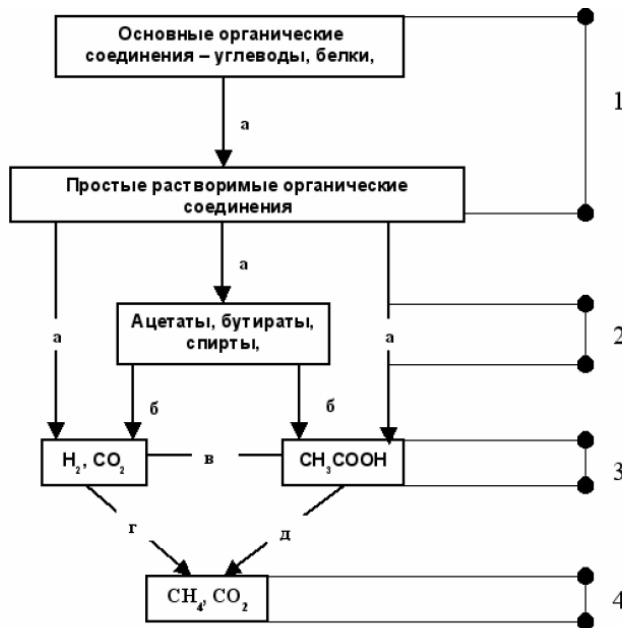
Поэтому обычно говорят о симбиозе – трофическом взаимодействии двух типов анаэробов – производящих органические кислоты и эти кислоты разлагающие. Так, деятельность бактерий *Acetobacterium*, выделяющих уксусную кислоту, протекает в одной пространственной зоне совместно с метанобактериями. Бактерии: *Synthrobacter* и *Synthrophomonas* разлагают жирные кислоты (пропионовую и масляную), некоторые спирты и даже ароматические соединения (бензойную кислоту), совместно с метаногенными бактериями. Общая схема процесса метанового брожения и основные группы участвующих в нём микроорганизмов представлены на Рисунке 2. Происходящие химические реакции с разными микроорганизмами, кроме указанных выше двух, подробнее описаны в работе (Шейна, Сысоев, 2009). Следует отметить, что до сих пор обнаруживаются и описываются новые бактерии, осуществляющие химические реакции, совершенно отличные от известных ранее. Вполне вероятно, что в ближайшем будущем возможно возникновение реакторов на других химических принципах.

Поскольку метановые бактерии на использовать N из аминокислот, для нормального их развития кроме CO_2 необходимо присутствие определенного количества азотистых соединений. Если естественный фон сточных вод не содержат достаточного количества азотистых соединений, их необходимо добавлять вручную. Наибольшую эффективность для деятельности метановых бактерий продемонстрировало добавление $(NH_4)_2CO_3$, NH_4Cl и NH_3 . Для лучшего протекания ферментации необходимо порядка 3,5 мг азота на 1 г сухого

вещества активного ила. Необходимым условием также является поддержание соотношения азота и углерода 1:20 в среде метантенка.

Еще одним фактором, определяющим жизнедеятельности метановых бактерий является кислотность. Наибольшая активность метановых бактерий зарегистрирована при pH = 6,4-7,2. В более кислых и более основных средах (pH > 8 или pH < 6) скорость роста бактерий резко падает, а, например, при pH < 5,5 процесс выработки метана вообще прекращается.

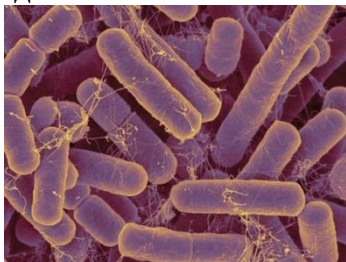
Еще одним существенным аргументом в функции выхода метана является температура. В зависимости от нее различают психрофильное (T ≈ 20-25 °C), мезофильное (T ≈ 30-35 °C) и термофильное (T ≈ 50-55 °C) сбраживание. При этом каждый тип осуществляется своей, только ему присущей группой бактерий, соответственно психрофильной, мезофильной и термофильной микрофлоры. Два последних типа брожения обычно осуществляется в специальных сооружениях: биореакторах-метантенках с подогревом.



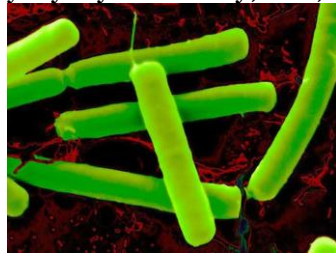
- Участвующие группы бактерий:**
а – ферментативные кислотогены,
б – ацетогены, образующие H₂,
в – ацетогены, использующие H₂,
г – метаногены, восстанавливающие CO₂,
д – метаногены, использующие уксусную кислоту
- Стадии процесса:**
1 – гидролиз,
2 – кислотообразование,
3 – образование уксусной кислоты,
4 – образование метана.

Схема анаэробного метанового сбраживания стоков

а) **Bacteroides** производят гидролиз органических соединений



б) **Clostridium** выделяет уксусную кислоту, CO₂, H₂



в) **Helicobacter** выделяет уксусную кислоту при окислении H₂



г) **Methanosaeta** преобразует CO₂ и H₂ в CH₄

д) **Methanospaera** превращает уксусную кислоту в CH₄ и CO₂



Рис. 2. Основные этапы метанового брожения и участвующие группы микроорганизмов

Наиболее быстро проходит термофильная ферментация, скорость реакции которой примерно вдвое выше остальных. За счет этого полезный объем биореактора можно снизить в два раза. Еще одним преимуществом этой ферментации является то, что при ней происходит полная дегельминтизация осадка. Для сравнения, при мезофильной ферментации погибает лишь примерно 50-80 % яиц гельминтов. Зато ее безусловным преимуществом является самодостаточность процесса за счет тепла, получаемого при сгорании выделившегося при реакции метана. Термофильная ферментация требует дополнительного расхода топлива, особенно в холодное время года, а кроме того, полученный обезвоживать намного труднее, чем осадок мезофильной ферментации.

В состав биогаза, помимо метана, входят также углекислый газ, водород, сероводород. Общее количество биогаза и соотношение различных компонентов в его составе определяется типом исходного органического для различных видов, отходов приведены в [таблице 1](#).

Таблица 1. Влияние состава исходного органического вещества на выход биогаза и содержание в нём метана (Ткаченко и др., 2017)

Вид исходного вещества	Выход биогаза, м ³ /тонну сухого вещества	Содержание метана, % по объему
Коммунальные сточные воды, фекалии	310-740	70
Овощные отходы	330 - 500	50-70
Пшеничная солома	200 - 300	50-60
Листья масличных культур	280 - 320	59-65

Теплота сгорания биогаза ниже, чем чистого метана, вследствие присутствия в биогазе CO₂. Для чистого CH₄ теплота сгорания составляет 37,3 МДж/м³, а у биогаза – от 17,8 до 24,9 МДж/м³ при содержании метана от 50 до 70% по объёму соответственно. Поэтому, кроме сбора биогаза от различных источников, актуальна так же его очистка от примесей, с целью повышения его теплотворной способности

Сбор биогаза

Хозяйственно-бытовые источники

В агропромышленном и коммунальном хозяйстве источниками образования биогаза являются следующие отходы: жидкий навоз, биологические отходы предприятий по переработке крупного рогатого скота, молочные продукты, овощи и фрукты, жидкие и твердые органические отходы пивоваренных и винокуренных заводов, отходы производства сахара, растительного масла, вина, твердый компост, непродовольственные товары биомасса (трава, стебли листьев, пшеничный и кукурузный силос, жом сахарной свеклы и т.д.), жир, сточные воды, фекальные стоки.

Поэтому уже построены крупные биогазовые установки (парки), в которых биогаз получают из органических отходов агропромышленного комплекса в процессах анаэробного метанового брожения, его сбора, очистки и хранения в метантенках с последующей

доставкой потребителям. Самый крупный в мире биогазовый парк расположен в Германии, в федеральной земле Мекленбург — Померания (Mecklenburg-Vorpommern) на окраине небольшого города Гюстров (Güstrow). (Тимофеева, 2021). Строительство данного парка под названием Nawaro Bio-Energie Park Güstrow стартовало в 2009 г., а через полтора года, в 2010 г. парк заработал на полную мощность. Величина инвестиций составила 100 млн. евро, число занятых на сданном в эксплуатацию объекте — 100 человек.

Название парка содержит наименование фирмы разработчика и подрядчика, осуществлявшей полный контроль всех работ — NAWARO BioEnergie AG, входящей в инжиниринговый концерн NAWARO. Поставки оборудования, средств автоматизации и др. осуществляли более 20 фирм из Германии. Так выглядит часть Nawaro Bio-Energie Park Güstrow (Рисунок 3) (Панцхава, 2014).



Рис. 3. Биоэнергетическая станция Nawaro Bio-Energie Park Güstrow в Германии

Парк занимает площадь в 20 гектаров, на которой расположены 5 модулей, в общей сложности 20 ферментеров и 20 контейнеров для продуктов брожения по 5 тысяч тонн каждый, а также здания, площадка для подготовки биомассы, сточные воды из которой поступают в ферментеры, компрессорная станция для подачи газа в сеть природного газа и т.д.

Этот парк имеет следующие характеристики: Годовая мощность по производству биогаза составляет 46 миллионов кубических метров (10 000 кубических метров в час). Компрессорная станция обеспечивает подачу природного газа в сеть в объеме до 5000 кубометров в час. Этого достаточно для производства 160 млн кВт*ч электроэнергии или 180 млн кВт*ч тепла в год. Этого количества энергии достаточно, чтобы обеспечить 50 тысяч домохозяйств, то есть небольшой город. Сырьем для производства энергии являются кукуруза, злаки, скошенные травы, в том числе силос.

В общей сложности в год требуется около 450 тысяч тонн сырья. Из них силос составляет 364 тыс. тонн, зерновые — 10 тыс. тонн, солома — 50 тыс. тонн и скошенная трава — 8 тыс. тонн.

Поставщиками являются сельскохозяйственные фермы, расположенные в радиусе 50 км. Их владельцы подписали 3-летние контракты на поставку субстратов. За каждую тонну поставщик получает от 28 до 30 евро. Таким образом, обеспечивается до 75 % потребностей парка в сырье. Оставшиеся продукты брожения сушат, прессуют и используют в качестве удобрения. В общей сложности в год производится до 85 тыс. тонн прессованных удобрений и 90 тыс. тонн удобрений с жидким веществом. Все это реализуется в одном и том же регионе.

Однако установка биогазовой установки довольно проста в реализации для небольшой фермы. Например, в США производство биогаза в США поддерживается законодательством на федеральном уровне и уровне штатов (Киселев, 2019). Приняты соответствующие программы, бизнес ведет активную деятельность. Существует закон о фермерских хозяйствах 2002 года. В общей сложности около 2000 объектов по всей территории производят биогаз. В больших метантенках в Ле-Суер, штат Миннесота, метан производится из навоза и кукурузного силоса, который питает генераторы, вырабатывающие электричество; в белых куполах хранится биогаз на заводе Hometown BioEnergy. Анаэробные метантенки так же используются на молочных фермах для переработки навоза и растительных отходов в энергию. В Южном Сент-Поле в этом году планируется построить метантенк стоимостью 30 миллионов долларов на предприятии под названием Sanimax, где из биогаза будут производить электроэнергию.

Имеется федеральная программа по биогазу AgSTAR, субсидируемая Федеральным агентством по защите окружающей среды, Министерством сельского хозяйства и Министерством энергетики. Из федеральных источников финансируются следующие программы: Environmental Quality Incentives Program (EQIP), Regional Biomass Energy Programs, Renewable Energy Systems and Energy Efficiency Improvements Program, Sustainable Agriculture Research and Education. На программу «The Renewable Energy Systems», финансируемую согласно 9006-й части 2002 Farm Bill, на 2007 год выделено 11,4 млн. долларов на гранты и 176,5 млн. долларов – на займы.

На уровне практически всех штатов приняты программы по биогазу, причем выделяются большие средства. Так, например, в штате Калифорния действует Self-Generation Incentive Program, на которую в 2004 году было выделено 100 млн. долларов. В этом же штате функционируют еще 3 программы по биогазу (в том числе California's Dairy Power Production Program – DPPP) с общим финансированием более 15 млн. долларов. На региональную программу штатов Мичиган, Миннесота, северная и Южная Дакота, Висконсин, сформированную ещё в 1999 г., было выделено 16 млн. долларов на 19 проектов по возобновляемой энергии, из них 7 – по биомассе.

В штате Пенсильвания реализуется программа стоимостью 21,8 млн. долларов. В штате Нью-Йорк есть программа по биогазу стоимостью 10 млн. долларов. В Техасе с 1988 г. действует соответствующая программа с минимальным финансированием 95 млн. долларов. Наконец, в штате Орегон осуществляются 4 программы.

На одну из них – Business Energy Tax credit – с 1980 г. выделено инвестиций для 6500 участников на более чем 549 млн. долларов. На остальные программы этого штата также предусмотрена сумма более 5 млн. долларов.

Биогаз обеспечивает 8 % электроэнергии, производимой из возобновляемого сырья в Соединенных Штатах (данные за 2006 год). Большинство биогазовых ферм расположены в Калифорнии, Пенсильвании, Висконсине и Нью-Йорке.

В России всего семь биогазовых установок, работающих на сельскохозяйственных отходах. Два расположены в Белгородской области, по одному во Владимирской, Калужской, Курской, Московской областях и в Республике Татарстан. Станция в Лаки (Белгородская область), запущенная в 2012 году, установленной мощностью 3,6 мегаватт является крупнейшей в России (Клунова, 2019). В полукилометре от станции находится крупная свиноферма (селекционно-генетический центр, входит в холдинг "Агро-Белогорье"), которая является основным поставщиком "топлива" – от фермы под землей проложена труба, по которой фекалии поступают на станцию. Другие животноводческие комплексы также вывозят сюда свои отходы.

Общий вид биогазовой станции показан на [Рисунке 4](#).

В состав биогазовой станции входят бассейны для приёма и хранения сырья. Биореакторы-метантенки для анаэробного мезофильного (+ 37°C) метанового брожения, газгольдеры для усреднения состава и хранения биогаза, электрогенерационная установка. Станция так же имеет зарядное устройство для электромобилей. Биогазовая установка перерабатывает около 98 000 тонн органических отходов в год. Всё оборудование станции произведено в Германии фирмой SEVA Energie AG.



Рис. 4. Биогазовая электростанция «Лучки», Прохоровский район, Белгородская область, Россия

Исходным сырьём для получения биогаза служат:

- навозные стоки;
- отходы убоя птиц;
- отходы убоя свиней;
- отходы птицеводства;
- отходы очистных сооружений боенских предприятий;
- жом сахарной свеклы;
- отходы производства овощей и прочие виды сырья.

Анаэробные метаногены выделяют больше газа, если навоз смешивают с отходами растениеводства — свекловичным и овощным жомом, шелухой, соломой, неиспользованной ботвой. Смешивание осуществляется в биореакторах с помощью смесителей. После сбора урожая вместо отходов используются предварительно приготовленные силос и сено. Биогаз содержит много примесей, включая углекислый газ, водяной пар и сероводород, поэтому перед использованием биогаз проходит процесс очистки. Сброженная масса представляет собой удобрение, которое соответствует требованиям ГОСТ 33380-2015 и может быть внесено на близлежащие поля для повышения урожайности.

Свалочный газ

Для извлечения биогаза со свалок, как правило, используется определенная схема (Рисунок 5): вертикальные скважины, проникающие вглубь слежавшегося тела мусора, подключаются к линиям газопровода, в котором вакуумное оборудование формирует вакуум, необходимый для перемещения газа из скважины к месту его использовать. Устройства для сбора, хранения и утилизации биогаза размещаются на заранее подготовленной площадке за пределами полигона.

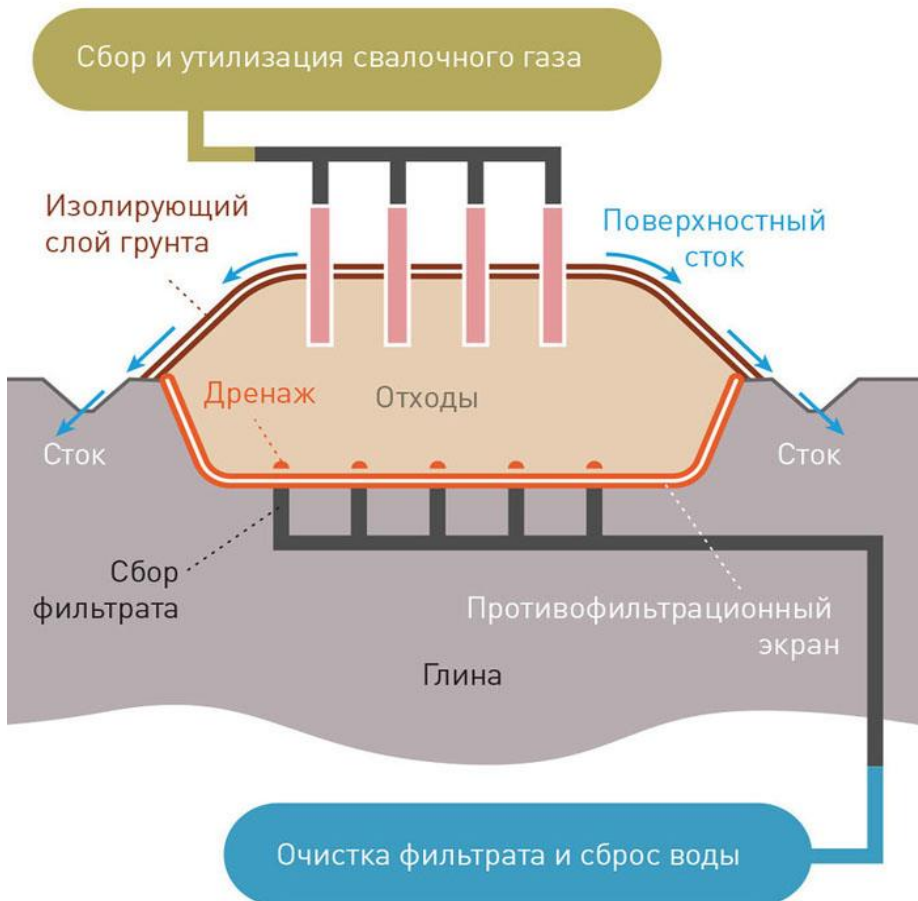


Рис. 5. Технологическая схема экстракции и утилизации свалочного газа (Григорьева, 2022)

В каждом колодце осуществляется дренаж из определенного блока твердых бытовых отходов бытового характера, который имеет цилиндрическую форму. Создание системы отвода газа осуществляется в месте расположения полигона после консервации полигона, кроме того, такая система может быть создана в отдельных частях полигона в зависимости от очереди их загрузки. Территория расположения полигонов твердых бытовых отходов, где планируется сформировать систему сбора газов, должна быть подвергнута рекультивации, то есть покрыта слоем почвы, толщина которого составляет не менее 40 см.

При создании скважин в глубине тела отходов целесообразно использовать бурение шнекового типа. Это недорогой и доступный метод, так как он широко применяется при инженерно-геологических работах. При использовании этого метода бурения максимально допустимый диаметр скважины составляет 0,5 м. Тем не менее, их создание сопряжено с трудностями, связанными с наличием большого количества посторонних включений (частиц от металла и бетона, остатков машин и устройств). Эти инородные частицы затрудняют бурение и часто приводят к поломке бурового инструмента. Практика показывает, что при сравнительной простоте можно создавать скважины диаметром 250-300 мм, при этом их глубины будут вполне достаточно для извлечения свалочного газа.

Температура газов в глубине корпуса отходов может составлять около 50 градусов, а относительная влажность составляет 70 %. После того, как отбор газа завершен и он поступает в газопроводы, температура резко падает, образуется конденсат, который выделяется в больших количествах. Например, при добыче свалочного газа в количестве 100 кубометров за один час образуется около 1 кубометра конденсата. Удаление этой жидкости с использованием специального оборудования является важной задачей. Наличие конденсата в газопроводе приведет к усложнению или невозможности процесса добычи газа.

Газопровод формируется в траншеях, которые прокладываются на глубине, предотвращающей замерзание труб при отрицательных температурах воздуха. При создании трубопроводных линий для предотвращения образования конденсата следует создавать

специальные уклоны для стока конденсата, а также устанавливать устройства для отвода конденсата, которые своевременно удаляют влагу. Конденсатоотводчик представляет собой стальной резервуар, в который стекает конденсат, устройство имеет гидравлический механизм блокировки. С его помощью заправочная станция поддерживается в рабочем состоянии.

Для регулирования функционирования газопровода используются запорные детали в виде специальных кранов и заслонок. С помощью запорных клапанов обеспечивается надежность, скорость и безопасность при использовании системы с низкими гидравлическими затратами. При использовании трубопроводов газы доставляются в назначенный пункт сбора. Зона сбора газа используется для удаления свалочного газа из толщи свалки. Для этих целей при использовании электрического вентилятора в механизме газопровода обеспечивается разряд (показатель примерно 100 мбар).

В значительных объемах такой газ собирается и утилизируется в западных странах: в США, Великобритании, Франции, Дании (Таблица 2). Объем добычи газа за год указывает на то, что глобальные работы по переработке дают результаты в размере около 1,2 млрд куб. м. в течение одного года, или 429 тыс. тонн метана или 1 % от его мирового производства. Можно сделать вывод, что объем экстрагируемых веществ ничтожно мал по сравнению с объемом их образования. Это открывает широкие перспективы для развития биогаза как отдельной отрасли.

Таблица 2. Объемы годовой добычи свалочного газа

Страна	Объем добычи, млн. куб.м/год
США	500
Германия	400
Великобритания	200
Нидерланды	50
Франция	40
Италия	35
Дания	5
Итого:	1230

Для определения возможностей распространения технологии в России были проведены технико-экономические расчеты потенциальных стандартных объектов в этой области. В качестве исходной информации были использованы результаты пилотных проектов, реализованных организацией "Геополис" в Московской области. Период продолжительности стандартного проекта в таких расчетах был равен одному десятилетию. Стоит отметить, что при определении прибыли от добычи газа и электроэнергии использовались цены ниже действующих в настоящее время в сфере энергоресурсов (180 рублей за кубометр свалочного газа и 250 рублей за 1 кВт в час электроэнергии).

Эти данные были получены в результате опроса потенциальных потребителей электроэнергии из газов. Были рассмотрены два типа схем устранения СГ. Первый включал в себя выработку электроэнергии, второй включал передачу сырого газа потребителям. Результаты этих исследований позволяют сделать выводы: объекты электроэнергетики нуждаются в больших денежных вложениях и являются максимально прибыльными в соответствии с абсолютными показателями. С увеличением массы тел свалочного типа технико-экономические показатели увеличиваются прямо пропорционально. Все рассмотренные методы отличаются экономической эффективностью. Важно добавить, что эти расчеты также имеют ограничения. Налогообложение и инфляционный процесс здесь не принимаются во внимание. Их появление в схеме расчетов негативно скажется на показателях прибыли.

Таким образом, очевидно, что добыча свалочного биогаза практически не работает в России, несмотря на большие объемы образующихся отходов и большие территории, занимаемые полигонами для складирования мусора.

Канализационный газ

Канализационный или аэрационный газ - это продукт брожения жидких сточных вод в канализационной сети населенного пункта. Газы, образующиеся в канализации, являются продуктом разложения органических отходов, они могут быть зловонными, токсичными или взрывоопасными. Чтобы предотвратить их попадание в жилые и офисные помещения, все приемники сточных вод (умывальники, туалеты, приемники промышленных установок и т.д.) оснащены гидравлическими клапанами (сифонами).

В состав канализационных газов входит 60-68 % метана, 30-35 % углекислого газа, до 2 % водорода, сероводорода и некоторых других компонентов. Теплотворная способность такой смеси составляет 5500 ккал/нм³ (Годиш, 2012). Если из его состава удалить диоксид углерода, газ становится относительно однородным топливом, содержание метана увеличивается до 85 %, а теплотворная способность достигает 6900 ккал/нм³. (нм³ – это обычный кубический метр, т.е. объем газа в 1 кубическом метре, измеренный при температуре +20 °С).

Использование канализационного газа в качестве топлива пока не получило широкого распространения из-за того, что рентабельность может быть достигнута только при высокоразвитой канализационной сети, которая могла бы окупить затраты на строительство специальных сооружений с отапливаемыми метантенками, осуществляющими термофильное сбраживание сточных вод. Есть данные о том, что с перерабатывающей станции, которая питается сточными водами, обслуживающей 100 тысяч человек, можно получать суточный объем канализационных газов, равный примерно 2500 м³. Это эквивалентно примерно 2000 литрам бензина.

В городской канализации биологическая очистка обычно используется в аэротенках, т.е. с доступом кислорода в воздухе. Выделение метана, водорода, CO₂ и сероводорода происходит из-за образования анаэробных условий, которые могут развиваться в небольшой ограниченной части сточных вод (например, в области стенок труб и коллекторов). Если предусмотрена специальная система анаэробной очистки сточных вод, загрязненных органическими веществами (не обязательно в протяженной и разветвленной канализационной системе), то выход биогаза может быть более значительным.

Созданию установок извлечения биогаза из бытовых стоков способствует рост цен на природный газ. Например, в городе Сент-Луис-Парк (округ Хеннепин, штат Миннесота, США) может появиться система переработки жидких органических отходов населенного пункта. Застройщик жилого района Крис Веласко из компании «PLACE», расположенной в Миннеаполисе, хочет построить на месте бывшей кофейни «McGarvey Coffee» на шоссе № 7 квартал, состоящий из жилых квартир, студий и рабочих помещений с экологичной установкой, которая в Миннесоте чаще встречается на молочных фермах: анаэробным биореактором-метантенком (Star Tribune...). Метантенк превращает то, что сейчас является отходами, в биогаз, который будет питать генератор для производства электроэнергии, которая будет обогревать и охлаждать здания. Жидкое и твердое удобрение из метантенка будет использоваться для выращивания продуктов питания в теплицах на территории комплекса.

«Мы живем в обществе, где не задумываемся о том, откуда берется наша пища и энергия и куда деваются наши отходы», – сказал Веласко, соучредитель «PLACE». «Есть реальная польза в том, чтобы люди понимали, как эти вещи работают вместе. В конечном итоге это делает жизнь более доступной и одновременно уменьшает воздействие на окружающую среду».

Администрация Сент-Луис Парк пересматривает свои нормативные документы, чтобы разрешить анаэробные метантенки. «Нам нравится идея устойчивого развития; она инновационная», – говорит Мэг МакМонигал, руководитель отдела городского планирования и зонирования. «Мы работаем над постановлением, а затем они вернутся с планом».

В Европе анаэробные метантенки были построены рядом с гостиницами, а в Дании один из них соединен с рестораном «Burger King», сказал Веласко. Но в жилых районах они используются редко. Тим Фарнан, специалист по переработке органики из Агентства по контролю за загрязнением окружающей среды штата Миннесота, сказал, что ему не известно ни об одном метантенке, привязанном к жилым комплексам в Миннесоте. Использование органических отходов жилых домов для надежного производства биогаза может быть сложнее, чем использование навоза, сказал Фарнан. В то время как в

сельскохозяйственных реакторах ежедневно используется одна и та же смесь ингредиентов, сказал он, органические отходы жилых домов могут быть богаты арбузами в одно время года и другими видами продуктов в другое.

Веласко сказал, что его компания работает с фирмой, которая строит метантенки, чтобы создать установку, подходящую для жилых домов. Власти Сент-Луис-Парка заявили, что не хотят ни запаха, ни шума, связанных с метантенком. Веласко сказал, что герметичный метантенк со шнеком, который будет медленно вращать отходы, превратит пищевые отходы в биогаз за 21 день. «Они сильно отличаются от навозных метантенков», – сказал он. «Они будут закрытыми, тихими и фильтрованными. ... Мы хотим, чтобы люди жили, работали, а дети играли рядом с ним, не подозревая о его существовании».

В метантенке будет перерабатываться 35 000 тонн органических отходов в год, вырабатывая около полутора мегаватт энергии. Веласко сказал, что община будет подключена к электросети в качестве резервной, «но мы представляем, что в конце года мы будем чистым производителем энергии и будем утилизировать больше [отходов], чем производим».

В случае реализации проекта, Веласко сказал, что хотел бы, чтобы в метантенк поступали органические отходы, которые уже собираются в Сент-Луис-Парке, а также органические отходы из округа Хеннепин. Он сказал, что уже разговаривал с одним комиссаром округа о возможном пилотном проекте. По словам Веласко, «PLACE» заключила генеральный договор аренды на участок Мак Гарви по адресу 5725 State Highway 7 с возможностью выкупа. Он планирует создать сообщество «совместной работы», состоящее из квартир и деловых или студийных помещений, ориентированных на арендаторов с разным уровнем дохода. «Мы думаем о креативном классе, включая создателей, которые заинтересованы в создании вещей, обмене новыми технологиями... предпринимателей для бизнеса и технологической инфраструктуры, и все это в атмосфере сотрудничества», – сказал он. По его словам, цель проекта – сделать в квартале систему самобеспечения, работающую от источников возобновляемой энергии. В квартале будут теплицы для круглогодичного производства продуктов питания с использованием жидких удобрений, производимых метантенком.

Таким образом, создание установок для анаэробной биологической очистки бытовых сточных вод с возможностью сбора и последующей утилизации биогаза является инновацией по мировым меркам и поэтому весьма перспективно.

Утилизация биогаза

Утилизировать биогаз можно как обычное газообразное топливо, используемое в газогенераторах для выработки электроэнергии (Губерт, Корепанов, 2009). Состав оборудования показан на рис. 6, в качестве примера источника выбран сбор свалочного газа.

Свалочный газ содержит в своем составе большое количество вредных примесей и водяного пара, поэтому использовать его в качестве топлива невозможно. Чтобы очистить свалочный газ от примесей и сделать его пригодным для использования, обычно используются специальные скрубберы.

Скруббер – это газоочистное устройство, которое используется для очистки газообразных сред в различных химических и технологических процессах от примесей. Способ очистки газа, поступающего со свалки, в данном случае основан на промывке газа любой жидкостью, обычно, из-за дешевизны, здесь используется вода.

Этот метод позволяет полностью удалить из газа аэрозольные и пылевые частицы, а свалочный газ перестает содержать вредные вещества. Это означает, что после очистки свалочный газ может быть использован следующими способами:

- прямое сжигание в факелах для производства тепловой энергии.
- использовать в качестве топлива для двигателей и турбин с целью выработки тепла и электроэнергии.

Все эти методы идеально подходят для утилизации свалочного газа, но они не являются наиболее эффективными с точки зрения экономических выгод. Дело в том, что свалочный газ содержит в своем составе метан, а это значит, что его также можно использовать в газовых сетях общего назначения. Однако здесь не все так просто – из-за высокого содержания углекислого газа CO₂ в свалочном газе это не самое лучшее топливо. Следовательно, газ перед свалкой должен быть обогащен.

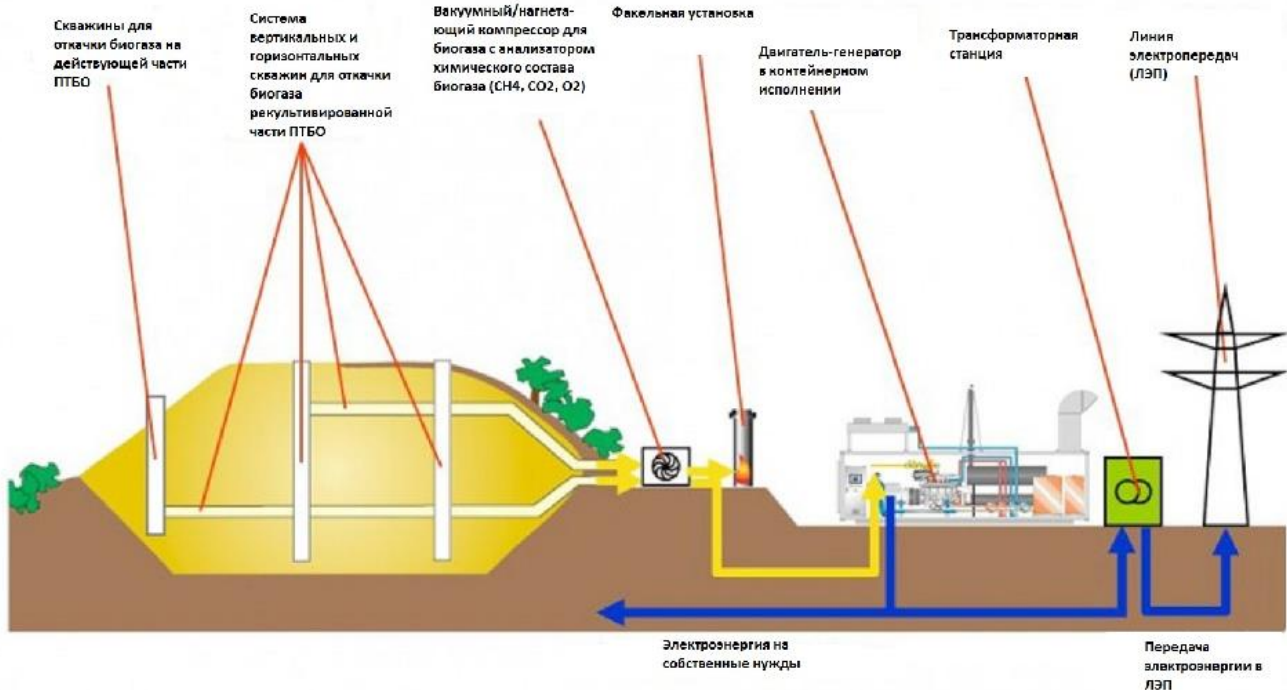


Рис. 6. Схема сбора и использования биогаза при рекультивации полигона твёрдых отходов (Короткая, Тимофеева, 2018)

Под обогащением свалочного газа понимается процесс доведения содержания метана в свалочном газе до 94-95 % (уровня природного газа). Этот процесс осуществляется на специализированных установках. После завершения обогащения свалочный газ может свободно использоваться в городских газовых сетях общего назначения.

Для того чтобы рассчитать точный выход свалочного газа с одной конкретной свалки, необходимо учитывать ряд различных факторов. Наиболее оправданным с экономической точки зрения является сбор и утилизация свалочного газа на тех полигонах твердых бытовых отходов, которые имеют глубину более 10 метров и содержат более 1 миллиона тонн отходов. Желательно, чтобы большая часть отходов на полигоне была не старше 10 лет. При соблюдении этих условий количество собираемого свалочного газа обычно составляет не менее 5 кубометров в год на одну тонну твердых бытовых отходов. Это особенно выгодно, поскольку такие объемы производства будут стабильными в течение 20 лет.

В качестве электростанций могут использоваться газопоршневые и газотурбинные установки. Газопоршневая электростанция 100 кВт (ЭГП-100) может использовать в качестве топлива природный газ, сжиженный пропан-бутан, сжатый газ, магистральный газ, попутный нефтяной газ, синтез-газ, пары больших дыханий резервуаров, промышленный газ, пиролизный газ, коксовый газ, биогаз, шахтный газ, газ сточных вод (Дизель-систем...). Установка создана на базе двигателя внутреннего сгорания ЯМЗ-238. Газопоршневые установки ЭГП-100 выпускаются в блочно-контейнерном исполнении (Рисунок 7), с автоматическим электронным регулированием стехиометрического соотношения воздуха и газа в топливной смеси, контролируемого лямбда-зондом.



Рис. 7. Газопоршневая электростанция ЭГП-100. Общий вид и установка во всепогодном металлическом кожухе

Металлический всепогодный шумозащитный кожух оборудован неподвижными защитными жалюзи на проемах приточной и вытяжной вентиляции. Конструкция металлического кожуха и расположение дверей обеспечивают удобный доступ ко всем основным узлам генератора для их осмотра и сервисного технического обслуживания. Дверцы легко снимаются. Внутренние поверхности кожуха облицованы термостойким звукопоглощающим материалом.

Система выпуска газов – газовыхлопной теплоизолированный трубопровод двигателя с промышленным глушителем (уровень снижения шума 12-15 дБА) с сифоном и искрогасителем. Глушитель расположен внутри кожуха.

В качестве источников энергоснабжения при утилизации биогаза возможно использование микротурбинных энергоустановок. Принцип действия их схож с обычными газотурбинными электростанциями, отличие заключается в компактности, малом уровне шума (уровень звука на расстоянии 1 м от установки не более 75 дБА) и возможности производить рекуперацию тепловой энергии. Мини-электростанция Calnetix TA-100 RCHP – это микротурбина для комбинированного производства электроэнергии и рекуперации теплоты. При утилизации теплоты потребитель может получить или систему отопления и горячего водоснабжения, или, с помощью дополнительно используемого абсорбционного чиллера – систему охлаждения. Общий КПД установки при этом может составлять более 75 % ([Микротурбинная установка...](#)).

Установка ([Рисунок 8](#)) содержит газотурбинный двигатель, встроенный дожимной газовый компрессор, генератор, котёл-утилизатор, систему управления, аккумуляторы, звукоизолирующий кожух.

Газотурбинный двигатель состоит из одноступенчатого центробежного компрессора со степенью сжатия 4, который обеспечивает подачу воздуха в камеру сгорания, в которой производится смешение горючих газов с воздухом. Конструкция камеры обеспечивает стабильное горение и преобразование химической энергии газообразного топлива в тепловую энергию продуктов горения. Одноступенчатая центробежная турбина преобразует энергию горячих отходящих газов в крутящий момент на валу и является приводом для центробежного компрессора и высокоскоростного генератора. Рекуператор представляет собой газо-воздушный теплообменник, предназначенный для повышения экономичности установки за счёт передачи части тепла сжатому воздуху, поступающему из компрессора в камеру сгорания.

Номинальная мощность установки составляет 100 кВт, максимальная – 200 кВт. В качестве топлива может использоваться широкий спектр горючих газов, в том числе – метан, образующийся в процессе анаэробной очистки сточных вод от органических загрязнений. Расход газа составляет 32-37 м³/час в зависимости от теплоты сгорания топлива. Объём отходящих газов: 0,8 м³/сек. Установка может быть смонтирована внутри небольшого сооружения отдельного технического модуля с организацией отвода наружу

продуктов сгорания. Размеры установки для монтажа в помещении, длина: 3100 мм, ширина: 850 мм, высота: 1930 мм, масса установки 1860 кг.

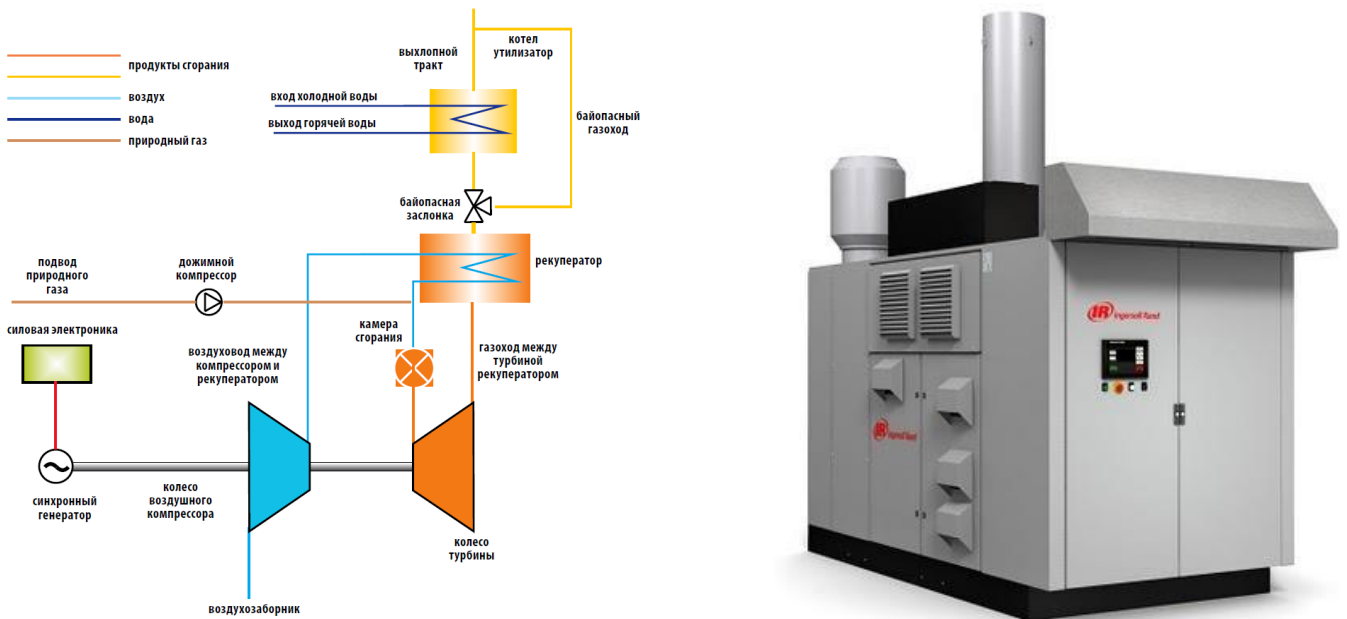


Рис. 8. Микротурбинная установка Calnetix

Необходимо отметить, что так как при сжигании CH_4 в атмосферу выделяется CO_2 , то утилизация биогаза для производства энергии попадает под действие трансграничного углеродного регулирования. Однако в итоговом документе 26-ой Конференции ООН по климату, прошедшей в 2021 г. в Глазго (Великобритания), записано, что принятые ограничения не распространяются на сжигание органического топлива с технологиями очистки выбросов от углекислого газа (CCS – carbon capture and storage), нейтрализующими вред окружающей среде. Поэтому сбор и использование биогаза для получения электроэнергии с использованием технологий очистки как самого газа, так и образующихся продуктов его сгорания – можно отнести к «зелёной» энергетике, наряду с альтернативными и возобновляемыми источниками.

3. Заключение

В связи с тем, что промышленная добыча газа очень активно развивается, увеличиваются объемы добычи. Это негативно сказывается на состоянии экосистемы. В результате постоянно растущего потребления природных ресурсов и, в частности природного газа, выбросы в атмосферу углекислого газа резко возросло. Это повлекло за собой резкий рост парникового эффекта. Что в свою очередь ведет к изменению климата уже не локально, а в масштабах всей планеты: происходит таяние ледников, увеличение водной массы океанов, глобальное потепление.

Поэтому с каждым днем повышается актуальность проблемы сбора и утилизации биогаза. Наше будущее, будущее наших потомков и всей планеты в целом в наших руках.

Литература

Белан, Креков, 2012 – Белан Б.Д., Креков Г.М. Влияние антропогенного фактора на содержание парниковых газов в тропосфере. Ч. 1. Метан // *Оптика атмосферы и океана*. 2012. Т. 25. № 4. С.361-373.

Годиш, 2012 – Годиш Т. Канализационный газ // *Записная книжка для внутренней среды*. [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Канализационный_газ (дата обращения: 02.01.2022 г.).

Григорьева, 2022 – Григорьева Е. «Conveco». Установки утилизации биогаза для свалочных полигонов. URL: <https://conveco.ru/skhema-ekstraktsii-i-utilizatsii-gaza> (дата обращения: 02.01.2022 г.).

Губерт, Корепанов, 2009 – Губерт А.В., Корепанов М.А. Возможности термической утилизации газообразных отходов // *Химическая физика и мезоскопия*. 2009. Т. 11. № 4. С. 430-432.

Дзюба и др., 2012 – Дзюба А.В., Елисеев А.В., Мохов И.И. Оценка изменений скорости стока метана из атмосферы при потеплении климата // *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*. 2012. Т. 48. № 3. С. 372-382.

Дизель-систем... – «Дизель-систем»: Газопоршневая электростанция 100 кВт (ЭГП-100) АГП-100, когенерационная установка 100 кВт, газогенератор 100 кВт на биотопливе (ГГУ-100). [Электронный ресурс]. URL: <https://www.d-system.ru/gaz/ag/6/> (дата обращения: 02.01.2022 г.).

Егорова и др., 2008 – Егорова Т.А., Клунова С.М., Живухина Е.А. Основы биотехнологии: Учебное пособие. Изд. 4-е, стер. М.: Издательский центр «Академия», 2008. 208 с.

Кароль, Киселев, 2006 – Кароль И.Л., Киселев А.А. Фотохимические модели атмосферы и их использование в исследованиях озоносферы и климата (Обзор) // *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*. 2006. Т. 42. № 1. С. 3-34.

Кароль, Решетников, 2014 – Кароль И.Л., Решетников А.И. Парниковые газы, аэрозоли, климат // *Труды ГГО им. А.И. Воейкова*. 2014. № 573. С. 5-38.

Киселев, 2019 – Киселев А.Л. Биогаз в США. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rosbiogas.ru/literatura/perspektivi-razvitiya-biogazovix-texnologij/biogaz-v-ssha.html> (дата обращения: 02.01.2022 г.).

Клунова, 2019 – Клунова С.М. Биогазовая электростанция в Лучках. [Электронный ресурс]. URL: <https://mikhed.ru/world/2015-08-Biogas-Powerplant-Luchki.html> (дата обращения: 02.01.2022 г.).

Коровицкий, Тоцкая, 2017 – Коровицкий С.А., Тоцкая А.А. Естественные пути стока парниковых газов из атмосферы на примере метана / *Концепции устойчивого развития науки в современных условиях: Сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции: в 6-ти частях*. Казань: Агентство международных исследований, 2017. Т. 1. С. 6-8.

Короткая, Тимофеева, 2018 – Короткая А.И., Тимофеева Т.А. Рекультивация полигонов отходов. [Электронный ресурс]. URL: <https://studfile.net/preview/5913890/page:5/> (дата обращения: 02.01.2022 г.).

Леценко, 2022 – Леценко С. Цена на газ в Европе превысила \$2300 за 1 тыс. куб. м. [Электронный ресурс]. URL: <https://iz.ru/1267776/2021-12-22/tcena-na-gaz-v-evrope-prevysila-2300-za-1-tys-kub-m> (дата обращения: 02.01.2022 г.)

Микротурбинная установка... – Микротурбинная установка Calnetix TA-100 RCHP. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.micro-turbines.ru/service.php?id=2&item=1> (дата обращения: 02.01.2022 г.).

Панцхава, 2014 – Панцхава Е.С. Биоэнергетика. Мир и Россия. Биогаз. Теория и практика. М.: КноРус медиа, 2014.

Тимофеева, 2021 – Тимофеева Л.И. Крупнейшие биогазовые установки в мире. [Электронный ресурс]. URL: <http://wp.shbiogas.ru/234/> (дата обращения: 02.01.2022 г.).

Ткаченко и др., 2017 – Ткаченко Ю.Л., Морозов С.Д., Рахметова Э.Р. Разработка системы замкнутого водооборота для автономного энерго- и экологонезависимого жилого модуля // *Успехи современной науки и образования*. 2017. Т. 5. № 2. С. 83-85.

Шейна, Сысоев, 2009 – Шейна О.А., Сысоев В.А. Биохимия процесса производства биогаза как альтернативного источника энергии // *Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки*. 2009. Т. 14. № 1. С. 73-76.

Al-Yasiri, Gécz, 2021 – Al-Yasiri Q., Gécz G. Global Warming Potential: Causes and Consequences // *Academia Letters*. 2021. Article № 3202. DOI: <https://doi.org/10.20935/AL3202>

Chianese, Rotz, 2009 – Chianese D.S., Rotz C.A., Richard T.L. Simulation of Methane Emissions from Dairy Farms to Assess Greenhouse Gas Reduction Strategies // *Transactions of the ASABE (Amer. soc. of agriculture and biol. engineering.-St. Joseph, Mich.)*. 2009. Vol. 52. № 4. Pp. 1313-1323.

Folberth et al., 2012 – Folberth G.A., Rumbold S.T., Collins W.J., Butler T.M. Global radiative forcing and megacities // *Urban Climate*. 2012. № 1. Pp. 4-19.

Kvenvolden, Rogers, 2005 – Kvenvolden K.A., Rogers B.W. Gaia's breath – global methane exhalations // *Marine and Petroleum Geology*. 2005. Vol. 22. № 20. Pp. 579-590.

Shindell et al., 2013 – Shindell D.T. et al. Radiative forcing in the ACCMIP historical and future climate simulations // *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2013. Vol. 13. Pp. 2939-2974.

Star Tribune... – «Star Tribune»: Zero-waste community may sprout in St. Louis Park. [Electronic resource]. URL: <https://www.startribune.com/zero-waste-community-may-sprout-in-st-louis-park/254123221/> (date of access: 02.01.2022).

References

Al-Yasiri, Géczy, 2021 – Al-Yasiri, Q., Géczy, G. (2021). Global Warming Potential: Causes and Consequences. *Academia Letters*. Article № 3202. DOI: <https://doi.org/10.20935/AL3202>

Belan, Krekov, 2012 – Belan, B.D., Krekov, G.M. (2012). Vliyaniye antropogennogo faktora na sodержaniye parnikovykh gazov v troposfere. Ch. 1. Metan [Influence of the anthropogenic factor on the content of greenhouse gases in the troposphere. Part 1. Methane]. *Optika atmosfery i okeana*. 25(4): 361-373. [in Russian]

Chianese, Rotz, 2009 – Chianese, D.S., Rotz, C.A., Richard, T.L. (2009). Simulation of Methane Emissions from Dairy Farms to Assess Greenhouse Gas Reduction Strategies. *Transactions of the ASABE (Amer. soc. of agriculture and biol. engineering.-St. Joseph, Mich.)*. 52(4): 1313-1323.

Dizel'-sistem... – «Dizel'-sistem»: Gazoporshnevaya elektrostantsiya 100 kVt (EGP-100) AGP-100, kogeneratsionnaya ustanovka 100 kVt, gazogenerator 100 kVt na biotoplive (GGU-100) ["Diesel-system": Gas piston power plant 100 kW (EGP-100) AGP-100, cogeneration plant 100 kW, biofuel gas generator 100 kW (GGU-100)]. [Electronic resource]. URL: <https://www.d-system.ru/gaz/ag/6/> (date of access: 02.01.2022). [in Russian]

Dzyuba i dr., 2012 – Dzyuba, A.V., Eliseev, A.V., Mokhov, I.I. (2012). Otsenka izmenenii skorosti stoka metana iz atmosfery pri potepnenii klimata [Estimation of changes in the rate of methane runoff from the atmosphere during climate warming]. *Izvestiya RAN. Fizika atmosfery i okeana*. 48(3): 372-382. [in Russian]

Egorova i dr., 2008 – Egorova, T.A., Klunova, S.M., Zhivukhina, E.A. (2008). Osnovy biotekhnologii: Uchebnoe posobie [Fundamentals of Biotechnology: Textbook]. Izd. 4-e, ster. M.: Izdatel'skii tsentr «Akademiya». 208 p. [in Russian]

Folberth et al., 2012 – Folberth, G.A., Rumbold, S.T., Collins, W.J., Butler, T.M. (2012). Global radiative forcing and megacities. *Urban Climate*. 1: 4-19.

Godish, 2012 – Godish, T. (2012). Kanalizatsionnyi gaz [Sewer gas]. *Zapishnaya knizhka dlya vnutrennei sredy*. [Electronic resource]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Kanalizatsionnyi_gaz (date of access: 02.01.2022). [in Russian]

Grigor'eva, 2022 – Grigor'eva, E. (2022). «Conveco». Ustanovki utilizatsii biogaza dlya svalochnykh poligonov ["Conveco" Biogas utilization plants for landfills]. [Electronic resource]. URL: <https://conveco.ru/skhema-ekstraktsii-i-utilizatsii-gaza> (date of access: 02.01.2022). [in Russian]

Gubert, Korepanov, 2009 – Gubert, A.V., Korepanov, M.A. (2009). Vozmozhnosti termicheskoi utilizatsii gazoobraznykh otkhodov [Possibilities of thermal utilization of gaseous wastes]. *Khimicheskaya fizika i mezoskopiya*. 11(4): 430-432. [in Russian]

Karol', Kiselev, 2006 – Karol', I.L., Kiselev, A.A. (2006). Fotokhimicheskie modeli atmosfery i ikh ispol'zovanie v issledovaniyakh ozonosfery i klimata (Obzor) [Photochemical models of the atmosphere and their use in the study of the ozonosphere and climate (Review)]. *Izvestiya RAN. Fizika atmosfery i okeana*. 42(1): 3-34. [in Russian]

Karol', Reshetnikov, 2014 – Karol', I.L., Reshetnikov, A.I. (2014). Parnikovyye gazy, aerzoli, klimat [Greenhouse gases, aerosols, climate]. *Trudy GGO im. A.I. Voeikova*. 573: 5-38. [in Russian]

Kiselev, 2019 – Kiselev, A.L. (2019). Biogaz v SSHA [Biogas in the USA]. [Electronic resource]. URL: <https://www.rosbiogas.ru/literatura/perspektivi-razvitiya-biogazovix-texnologij/biogaz-v-ssha.html> (date of access: 02.01.2022). [in Russian]

Klunova, 2019 – Klunova, S.M. (2019). Biogazovaya elektrostantsiya v Luchkakh [Biogas power plant in Luchki]. [Electronic resource]. URL: <https://mikhed.ru/world/2015-08-Biogas-Powerplant-Luchki.html> (date of access: 02.01.2022 g.). [in Russian]

Korotkaya, Timofeeva, 2018 – Korotkaya, A.I., Timofeeva, T.A. (2018). Rekul'tivatsiya poligonov otkhodov [Recultivation of landfills]. [Electronic resource]. URL: <https://studfile.net/preview/5913890/page:5/> (date of access: 02.01.2022). [in Russian]

Korovitskii, Totkaya, 2017 – Korovitskii, S.A., Totkaya, A.A. (2017). Estestvennye puti stoka parnikovyykh gazov iz atmosfery na primere metana [Natural ways of greenhouse gas sinks from the atmosphere on the example of methane]. *Kontseptsii ustoychivogo razvitiya nauki v sovremennykh usloviyakh: Sbornik statei po itogam Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii: v 6-ti chastyakh*. Kazan': Agentstvo mezhdunarodnykh issledovaniy. 1: 6-8. [in Russian]

Kvenvolden, Rogers, 2005 – Kvenvolden, K.A., Rogers, B.W. (2005). Gaia's breath – global methane exhalations. *Marine and Petroleum Geology*. 22(20): 579-590.

Leshchenko, 2022 – Leshchenko, S. (2022). Tsena na gaz v Evrope prevysila \$2300 za 1 tys. kub. m. [The price of gas in Europe exceeded \$2,300 per 1,000 cubic meters. m.]. [Electronic resource]. URL: <https://iz.ru/1267776/2021-12-22/tcena-na-gaz-v-evrope-prevysila-2300-za-1-tys-kub-m> (date of access: 02.01.2022). [in Russian]

Mikroturbinnaya ustanovka... – Mikroturbinnaya ustanovka Calnetix TA-100 RCHP [Microturbine installation Calnetix TA-100 RCHP]. [Electronic resource]. URL: <http://www.microturbines.ru/service.php?id=2&item=1> (date of access: 02.01.2022). [in Russian]

Pantskhava, 2014 – Pantskhava, E.S. (2014). Bioenergetika. Mir i Rossiya. Biogaz. Teoriya i praktika [Bioenergetics. World and Russia. Biogas. Theory and practice]. M.: KnoRus media. [in Russian]

Sheina, Sysoev, 2009 – Sheina O.A., Sysoev V.A. (2009). Biokhimiya protsessa proizvodstva biogaza kak al'ternativnogo istochnika energii [Biochemistry of the biogas production process as an alternative source of energy]. *Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki*. 14(1): 73-76. [in Russian]

Shindell et al., 2013 – Shindell, D.T. et al. (2013). Radiative forcing in the ACCMIP historical and future climate simulations. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 13: 2939-2974.

Star Tribune... – «Star Tribune»: Zero-waste community may sprout in St. Louis Park. [Electronic resource]. URL: <https://www.startribune.com/zero-waste-community-may-sprout-in-st-louis-park/254123221/> (date of access: 02.01.2022).

Timofeeva, 2021 – Timofeeva, L.I. (2021). Krupneishie biogazovye ustanovki v mire [The largest biogas plants in the world]. [Electronic resource]. URL: <http://wp.shbiogaz.ru/234/> (date of access: 02.01.2022). [in Russian]

Tkachenko i dr., 2017 – Tkachenko, Yu.L., Morozov, S.D., Rakhmetova, E.R. (2017). Razrabotka sistemy zamknutogo vodooborota dlya avtonomnogo energo- i ekologozavisimogo zhilogo modulya [Development of a closed water circulation system for an autonomous energy and environmentally independent residential module]. *Uspekhi sovremennoi nauki i obrazovaniya*. 5(2): 83-85. [in Russian]

Сбор и утилизация биогаза

Марина Сергеевна Митина ^{a, *}

^a Академия управления и производства, Москва, Российская Федерация

Аннотация. В статье рассматриваются проблемы сбора и утилизации биогаза. Анализируются виды биогаза, основные его источники, состав и схемы образования биогаза, зависимость выхода биогаза от вида органического источника. Рассматриваются проблемы изменения климата, глобального потепления и парникового эффекта. Изучаются возможности сбора и утилизации биогаза. Разрабатывается система биологической очистки бытовых сточных вод. Анализируются достоинства и недостатки современных установок по

* Корреспондирующий автор

Адреса электронной почты: mitina@amp1996.ru (М.С. Митина)

переработке биогаза. Рассматриваются проблемы переработки отходов животноводства в России и возможность постройки биогазовых парков, на примере Германии.

В связи с тем, что промышленная добыча газа очень активно развивается, увеличиваются объемы добычи. Это негативно сказывается на состоянии экосистемы. В результате постоянно растущего потребления природных ресурсов и, в частности природного газа, выбросы в атмосферу углекислого газа резко возросло. Это повлекло за собой резкий рост парникового эффекта. Что в свою очередь ведет к изменению климата уже не локально, а в масштабах всей планеты: происходит таяние ледников, увеличение водной массы океанов, глобальное потепление. Поэтому с каждым днем повышается актуальность проблемы сбора и утилизации биогаза.

Ключевые слова: метан, парниковый эффект, глобальное потепление, парниковый эффект, загрязнение окружающей среды, глобальное изменение климата.