

**ГБНОУ «СПб ГДТЮ»  
ЭБЦ «Крестовский остров», лаборатория АИР  
ФГКОУ «Нахимовское военно-морское училище МО РФ»**

**Тема: «Биологическая конверсия органических отходов с  
получением биогаза»**

**Авторы: Кислицын Ярослав, 10 класс,  
Соколов Илья, 9 класс  
ФГКОУ «Нахимовское военно-морское училище МО РФ»  
Руководитель: Тимофеева Людмила Геннадьевна,  
педагог доп. обр., ГБНОУ «СПб ГДЮТ»,  
ЭБЦ «Крестовский остров»,  
Одерова Светлана Александровна,  
преподаватель биологии НВМУ**

**Санкт-Петербург**

**2018 год**

## Содержание

1. ВВЕДЕНИЕ.....	3
2. Литературный обзор.....	2
3. Материалы и методы.....	7
4. Результаты и обсуждения.....	8
ВЫВОДЫ.....	13
Использованная литература.....	13

## **Введение**

В 1900 году планета потребила дотоле невиданное количество энергии – 0,7 тераватт. Это стало началом энергетической гонки XX века, в ходе которой люди истратили огромное количество ископаемого топлива и даже, как считают многие ученые, несколько изменили климат.

Сегодня мы продолжаем зависеть от производства углеводородного и ядерного топлива: в 2004 году общемировое потребление энергии составило 15 тераватт, из них 86,5% было произведено за счет ископаемых источников. На них строится процветание мировых экономик, но они же создают массу проблем: загрязнение окружающей среды, парниковые газы и политические баталии за доступ к месторождениям. Газы, скапливающиеся в верхних слоях атмосферы, формируют нечто вроде парниковой пленки, не давая планете рассеивать излишки тепла в космос. Поэтому и спорят ученые, что произойдет раньше: исчерпание запасов ископаемых источников (по некоторым оценкам их осталось еще на 70-150 лет) или глобальная климатическая катастрофа [6].

Существует три основные точки зрения на возможность выхода из сложившейся ситуации:

1. Вернуться «назад к пещерам», максимально отказавшись от всех благ цивилизации.
2. Жить по-прежнему, ни о чем не задумываясь.
3. Задуматься над тем, что развитие человечества возможно только при разумном и экологически чистом производственном процессе.

Осознание трагических последствий продолжения прежнего пути развития привело к ряду исторических событий, среди которых можно отметить следующие:

- В 1992 году в Рио-де-Жанейро на Всемирной Конференции ООН была принята концепция устойчивого развития человечества. Где были выработаны приоритетные направления новой энергетической политики: экономное использование энергоресурсов, эффективное использование энергии, увеличение использования возобновляемых энергоресурсов и стимулирования поиска новых, экологически безопасных источников энергии.
- 186 стран, включая Россию, подписавшие Рамочную конвенцию ООН об изменении климата (РКИК) в 1992 г., договорились объединить усилия по предотвращению опасных изменений климата и добиться стабилизации и концентрации парниковых газов в атмосфере на относительно безопасном уровне. Страны – участники РКИК обязались сотрудничать в разработке, применении и распространении технологий, позволяющих уменьшить и предотвратить антропогенную эмиссию парниковых газов.
- В конце 1997 г. 84 страны подписали Киотский протокол, который закрепил количественные обязательства развитых стран, и стран с переходной экономикой, по ограничению выбросов парниковых газов в атмосферу.

Многочисленные проблемы с ископаемыми запасами побуждают людей обращаться к возобновляемым источникам, которые можно сгруппировать в пять категорий: солнечные, ветряные, водные, геотермальные и биомасса.

**Целью** наших исследований является изучение возможности использования органических отходов и различной температуры, для получения биогаза.

**В задачи** исследования входило:

- Рассчитать количество метана, которое может быть получено из отходов санитарной рубки деревьев в смеси с конским навозом, конского навоза с соломой, разного размера частиц навоза и разной температуры получения биогаза.
- Определить отходы, каких пород деревьев наиболее пригодны для получения биогаза?
- Выяснить, как можно ускорить процесс получения биогаза из отходов, древесины?

## 2. Литературный обзор

На протяжении почти всей истории человечества главным источником энергии был ручной труд, который со временем стал дополняться энергией домашних животных. К началу XVIII века было изобретено уже немало машин, но промышленная революция стала возможна только в конце XVIII века после изобретения парового двигателя. Сначала основным топливом были дрова, затем их сменил уголь, который к концу XIX века стал основным энергоресурсом. Но у него было много недостатков: неудобен при работе, сильно загрязняет атмосферу, после сжигания остается много золы и т.д. К концу XIX века уголь сменила нефть. Люди научились нефтеперегонке, изобрели двигатель внутреннего сгорания. Эти изобретения человечества дали некоторые преимущества, так энергоемкость бензина выше, чем у угля, горит он чище, двигатель внутреннего сгорания весит меньше. В 60 – е годы XX века еще одним источником энергии стало ядерное топливо. Стал использоваться в качестве топлива и природный газ. С экологической точки зрения газ является наиболее чистым видом топлива, так как при сгорании дает самое незначительное число побочных продуктов.

К концу XX века уже стало очевидным, что энергетика внесла значительный вклад в обострение проблемы ограниченности запасов энергоресурсов и в ухудшение экологии планеты, вызывающих тревогу человечества. Подсчитано, что за один день в мире:

- 12 тыс. баррелей нефти сливается в океан (1 баррель=159 л).
- 60 тыс. баррелей нефти сжигается
- 413 ядерных реакторов производит 26 тыс. радиоактивных отходов.
- 56 млн. тонн двуокиси углерода выбрасывается в атмосферу.
- 1500 тонн хлорфторуглеродов уничтожает озоновый слой.
- 140 тыс. новых автомобилей присоединяется к 500 млн. действующих.

Поэтому в последние годы особое внимание обращено на альтернативные источники, которые смогут снизить выбросы загрязняющих веществ. Основной задачей энергетической программы на современном этапе найти оптимальный вариант извлечения энергии из возобновляемых источников [7].

Альтернативные источники энергии, так называемые, возобновляемые – это ветер, солнце, морские/океанские приливы и отливы, геотермальные источники (тепло земных глубин), биотопливо.

Биомассу, используемую для получения биотоплива можно сжигать, а также превращать в метан или спирт, которые используются как топливо. Выброс парниковых газов при сжигании биотоплива точно такой же, как при сгорании ископаемых видов топлива. Однако, в процессе формирования биотоплива углекислый газ поглощается из атмосферы – при фотосинтезе. Из углекислого газа и воды хлоропласты растений, используя солнечное излучение, синтезируют органику, богатую энергией: целлюлозу (основа древесины) и крахмал (углевод в плодах и семенах). В итоге возникает баланс и переизбытка углекислого газа в атмосфере не создается. Сегодня на биотопливо возлагают большие надежды.

- Так в Бразилии из ботвы гигантской кукурузы (являющейся генмодифицированным продуктом, производящим биомассу в больших объемах) получают спирт, который используют как топливо для машин. Когда дрожжи в анаэробных условиях питаются сахаром или крахмалом в качестве побочного продукта выделяется спирт, происходит спиртовое брожение, при перегонке спирт концентрируют.

- Из смеси спирта и бензина изготавливается биодизельное топливо. С 2007 г. все автомобили Skoda Octavia приспособлены для заправки биодизелем – в Чехии его производят около 60 тыс. тонн в год. В этом же году в Лондоне пущен первый поезд на биодизельном топливе.

Однако, в этой ситуации есть и отрицательная сторона. Под посевы биотоплива вырубаются леса, занимаются площади, отведенные под продовольственные культуры. Так экономисты Университета Миннесоты подсчитали, что если продовольственные культуры

сегодняшними темпами будут идти на выпуск этанола, количество голодающих в мире возрастет к 2020 году на 50%. Есть и другая проблема, при перегонке используется дешевое дающее много копоти топливо (битумный уголь). Получаемый спирт дороже бензина.

Частичное решение может содержаться в разработках группы исследователей из Университета штата Техас. Бактерии из группы *Cyanobacter* был вживлен ген от другой бактерии, *Acetobacter xylinum*, которая производит целлюлозу – если только ее кормить. Цианобактерии пользуясь солнцем, углекислым газом и водой сами фотосинтезируют. Таким образом, генмодифицированные бактерии на солнце будут быстро размножаться и давать целлюлозу. Причем эта целлюлоза легче перегоняется в спирт. Такая модификация позволит более эффективное использование занимаемой площади.

Распространенными источниками биомассы являются отходы бумажной и деревообрабатывающей промышленности, санитарная рубка лесов. Только отходы от сплошной рубки на одном гектаре леса могут обогреть квартиру площадью 60 кв. метров в течение десяти лет (при годовом потреблении 250 кВтч/кв. м в год). Преимущества использования этого биотоплива в котельных подтверждены работой установок действующих в странах Балтики и Восточной Европы. Использование этих отходов в энергетическом секторе уменьшает выбросы окислов азота и двуокиси серы. Кроме того, это дешевое сырье. Однако сама по себе рубка леса наносит огромный ущерб окружающей среде, так как нарушает лесные экосистемы.

В качестве источника энергии можно использовать и биогаз. Существует множество технологий получения биогаза. Наиболее распространенным является получение биогаза при питании бактерий органикой в анаэробных условиях (сбраживание). Сбраживание органических веществ, таких как экскременты животных, растительные отходы, сточные воды и т. п. происходит в специальных установках – метантенках. В России уже действует около 20 биоэнергетических установок по переработке сельскохозяйственных отходов.

Биогаз можно конвертировать в тепловую и электрическую энергию, использовать в двигателях внутреннего сгорания, для получения синтез-газа и искусственного бензина. Биологическая конверсия – это сложный ферментативный процесс, в котором в отсутствие кислорода под воздействием анаэробных бактерий происходит разложение органических отходов. Основная часть метана получается путем ферментации уксусной и пропионовой кислот [2].

Продолжительность биоконверсии органических отходов в биореакторах составляет не менее 12 суток. Ее конечным продуктом является биогаз содержащий 60-70% метана. Остальное это диоксид углерода, а также твердый остаток, представляющий собой ценное удобрение.

Бактерии метанного брожения могут работать только при температуре 35-60 °С, поэтому часть образующегося биогаза расходуется на подогрев биореактора. Можно утилизировать и диоксид углерода, содержащийся в биогазе. Его отмывают от метана водой и затем подают в теплицы, где он способствует продуктивности сельскохозяйственных культур [1]. Теплотворная способность биогаза составляет примерно 23000 кДж на 1 куб. м, т.е. при сгорании одного кубического метра такого газа выделяется столько энергии, сколько дает сжигание 0,65 кг каменного угля.

Ученые разработали способы культивирования метановых бактерий. Применение этих бактерий значительно ускоряет процесс брожения и получения биогаза.

Уже в восьмидесятые годы прошлого века во многих странах появились новые подходы к оценке роли отходов. Многие отходы стали рассматривать как вторичное сырье. Вторичное использование сырья (или изделий из него) как сырья для нового производства называется *рециклингом* [1].

Особенность российских биогазовых электростанций заключается в том, что они возводятся в достаточно короткие сроки, что стало возможным за счет модулей высокой

готовности. Так, первая экспериментальная электростанция была построена под Калугой в 2009 году всего за полгода, ее мощность составила 320 кВт.

Сама биогазовая электростанция состоит из двух частей – метантенки, в котором происходит анаэробное брожение жидких органических отходов с получением метана, и стандартной электростанции, работающей на газе.

Для того чтобы биогазовые электростанции могли работать в России, были разработаны специальные метантенки. Помимо того что российское изобретение может работать с местным биосырьем, они также могут выдерживать температурный режим от -40 до +40°C, то есть эксплуатироваться на большей части страны.

Уникальность технологии еще в том, что российские станции могут работать на любом биосырье. Например, если к навозу добавлять жом, газа выделяется больше. По сути, подобные станции можно устанавливать на базе любого пищевого производства, будь то мясокомбинат или рыбный завод [3].

Помимо выработки дешевой электроэнергии и тепла подобные электростанции позволяют фермерам сократить свои расходы на утилизацию отходов животноводства. В соответствии с Федеральным классификационным каталогом отходов навозу присваивается третий, четвертый, а в некоторых случаях и пятый класс опасности. Его запрещено выбрасывать на поля, так как это делает землю непригодной для использования, помимо этого, из-за дождей загрязняются поверхностные водные источники – реки и озера, за это полагается штраф.

Помимо этого при выработке электричества и тепла остается побочный продукт, который является органическим удобрением. Установленное на биогазовой электростанции оборудование позволяет делать его жидким или гранулированным, для второго варианта используется все то же вырабатываемое тепло.

Разработан и проект, который будет работать на базе канализации. Конечно, удобрений на выходе мы не получим, но из этого получается некий порошок с примесью тяжелых металлов, который потом используется в изготовлении цемента, - рассказали о будущих разработках в «Биогазэнергострое».

Метантенки работают и на осадках сточных вод, применяются на городских, промышленных и локальных очистных сооружениях. Чаще всего в метантенках сбраживается осадок первичных отстойников или активный ил, или их смесь.

Метановое сбраживание – это процесс распада органических соединений до простых веществ, в результате которого выделяется газ. Жиры и белки в основном разлагаются с высоким выделением метана, а углеводы — с выделением углекислого газа. Смесь этих газов – это биогаз. Процесс разложения происходит в результате жизнедеятельности анаэробных микроорганизмов.

Возможно три режима работы метантенков: *психрофильный – при температуре до 200°C, мезофильный – при температуре 33°C, термофильный – при температуре 53°C.*

Выбор температуры определяется условиями работы метантенка: технико-экономическими, санитарно-гигиеническими, природоохранными с учетом обеспечения полного цикла сбраживания. Следует также обратить внимание на химический состав осадка и его объем.

Для того чтобы процесс сбраживания в метантенке происходил без проблем, в нем необходимо поддерживать постоянными следующие условия:

- pH = 7,0 — 7,5;
- содержание жирных летучих кислот 3 — 8 мг экв/ л;
- содержание щелочей 70 — 76 мг экв /л;
- содержание аммонийных солей азота 600 — 800 мг/л.

Для этого подачу и выгрузку осадка в сооружение в течение суток рекомендуется выполнять равномерно (прямоточная схема эксплуатации), а также для поддержания необходимой температуры возможен обогрев острым паром. Тем не менее, в общем плане, метантенки могут работать в режимах:

- в периодическом;
- непрерывном;
- полунепрерывном.

Есть и другие факторы, влияющие на эффект сбраживания:

- тяжелые металлы (кобальт, медь, никель), а также хром и сернистые соединения оказывают ингибирующее действие на процесс анаэробного сбраживания;
- перемешивание загрузки метантенка производится для того чтобы: предотвратить образование мертвых зон, расслоение осадка, образование корки, отложение песка, а также с целью эффективного использования всего объема метантенка, выравнивания температуры и концентраций метаболитов (промежуточных субстратов).

Перемешивание осуществляется механическими мешалками или при помощи циркуляции осадка и рециркуляции газа (более эффективный способ, однако на практике применяется редко).

Однако интенсивность перемешивания имеет предел: если она будет слишком высока то, некоторые группы бактерий могут потерять связь, родство с определенной частью субстрата. В свою очередь неинтенсивное перемешивание ведет к уменьшению образования биогаза.

Существуют две технологические схемы сбраживания (работы биореакторов) [5]:

1. Одноступенчатая (низконагружаемые метантенки);
2. Двухступенчатая (иногда называется многоступенчатой) – в этом случае в качестве первой ступени устанавливается метантенк, работающий в мезофильном режиме, а в качестве второй – открытый (на нем осуществляется обезвоживание и уплотнение осадка). Преимуществами такой схемы является: отсутствие расслоения осадка и отделения иловой воды.

Выделяют следующие возможные конструкции метантенков:

- с куполообразным перекрытием (жестким);
- с плавающим перекрытием;
- открытые.

Независимо от конструкции схема метантенка включает в себя:

- резервуар, круглый или прямоугольный в плане, с коническим днищем;
- перекрытие;
- колпак – располагается над перекрытием. Здесь собирается и впоследствии удаляется газ;
- системы перемешивания;

## МЕТАНТЕНК И МЕТАНОВОЕ ХОЗЯЙСТВО



- системы обогрева;
- системы отведения и сброса биогаза;
- системы подачи и вывода осадка.

Интенсификация работы метантенка ведется в двух направлениях [5]:

1. Совершенствование конструкции (чаще с целью совмещения всех стадий сбраживания в одном сооружении).
2. Исследование и создание условий, наиболее благоприятных для микроорганизмов, участвующих в процессе анаэробной стабилизации.

### 3. Материалы и методы

Для наших исследований необходимо было создать простейшую установку, дающую возможность измерять количество получаемого биогаза через определенное количество дней, возможность увеличивать или уменьшать температуру установки. Мы остановились на толстостенной конической колбе объемом один литр, стеклянной пробке со сквозной трубкой посередине и резиновом баллоне для сбора газа, надеваемом на эту пробку. Для перекрытия поступления газа (при замерах биогаза) использовался зажим для резиновых шлангов.

Для определения объема выхода биогаза при биоконверсии отходов древесины при санитарной рубке деревьев в смеси с конским навозом, конского навоза, конского навоза с соломой, опыт закладывался по следующей схеме:

- в стеклянную колбу загружали сырье в количестве 0,5 л;
- заливали теплой водой в соотношении 1:1 по объему;
- колбу плотно закрывали пробкой с отводной стеклянной трубкой;
- к стеклянной пробке присоединяли мягкий баллон для приема газа;
- выделение газа прослеживалось на протяжении 40 дней по наполнению резиновой камеры через каждые десять дней;
- сырье в колбе перемешивали каждый день.

В наших исследованиях было 10 вариантов опыта:

- 1 вариант — конский навоз свежий;
- 2 вариант — конский навоз гранулированный;
- 3 вариант — конский навоз свежий с соломой;
- 4 вариант — конский навоз гранулированный с соломой;
- 5 вариант — опилки березы плюс гранулированный конский навоз;
- 6 вариант — опилки осины плюс гранулированный конский навоз;
- 7 вариант — опилки тополя плюс гранулированный конский навоз;
- 7 вариант — опилки березы плюс свежий конский навоз;
- 8 вариант — опилки осины плюс свежий конский навоз;
- 9 вариант — опилки тополей плюс свежий конский навоз.

Опилки были получены при санитарной рубке деревьев в Приморском парке Победы в Санкт-Петербурге, а свежий конский навоз из конюшни, расположенной рядом с парком и закуплен гранулированный в магазине семена. Солома была получена при полевых исследованиях с газонными травами на опытных площадках ЭБЦ «Крестовский остров». Опилки брали на месте спилов через неделю после санитарной рубки. Смесь опилок, соломы и конского навоза готовился в соотношении 3:2 по массе. Каждый вариант опыта имел три повторности.

Для влияния температуры на выход биогаза собранные нами установки помещались у батарей отопления или оставались при комнатной температуре (22°C).

Таким образом количество вариантов удваивалось.

#### 4. Результаты и обсуждения

Полученные нами данные приведены в таблице 1- 3.

**Таблица 1. Количество биогаза, полученного в эксперименте, (л) при температуре 22 °С**

Варианты	Объем сырья (л) в каждой из 3 повтор.	Количество биогаза, полученное через: (л)						
		10 дней	20 дней	30 дней	40 дней	Итого	К-во метана за месяц	К-во биогаза из 100 м <sup>3</sup> сырья (м <sup>3</sup> )
Свежий конский навоз	0,5	0,16	0,84	1,53	0,52	3,05	1,98	610
Конский навоз гранулир.	0,5	0,10	0,45	0,78	0,24	1,57	1,02	314
Свежий конский навоз+ солома	0,5	0,59	1,56	1,98	0,82	4,95	3,21	990
Гранулир. конский навоз+ солома	0,5	0,53	1,28	1,60	0,68	4,09	2,66	532
Гранулир. конский навоз+ опилки березы	0,5	0,33	0,17	0,97	0,47	1,94	1,26	388
Гранулир. конский навоз+ опилки осины	0,5	0,17	0,27	0,97	0,30	1,71	1,11	342
Гранулир. конский навоз+ опилки тополя	0,5	0,36	0,15	0,83	0,38	1,72	1,12	344
Свежий конский навоз+ опилки березы	0,5	0,50	0,23	1,50	0,78	3,01	1,96	602
Свежий конский навоз+ опилки осины	0,5	0,50	0,19	1,06	0,70	2,45	1,59	490
Свежий конский навоз+ опилки тополя	0,5	0,50	0,15	1,13	0,63	2,41	1,57	482

По нашим наблюдениям уже через десять дней при комнатной температуре началось выделение биогаза. Его количество в вариантах опыта колебалось от 0,10 л, при использовании в качестве сырья гранулированный конский навоз, до 0,59 л, при использовании в качестве сырья свежего конского навоза с опилками. Самое большое количество биогаза во всех вариантах опыта было получено на тридцатый день, и его количество колебалось от 0,78 л, при использовании в качестве сырья гранулированного конского навоза до 1,98 л, при использовании в качестве сырья свежего конского навоза с соломой.

Таким образом, из 0,5 л сырья из опилок березы +гранулированный конский навоз было получено 1,71 л биогаза, из опилок осины + гранулированный конский навоз – 1,94 л, из опилок тополя + гранулированный конский навоз 1,72 л, из опилок березы со свежим конским навозом – 3,01 л, из опилок осины со свежим конским навозом – 2,45 л, из опилок тополя со свежим конским навозом – 1,78 л, из свежего конского навоза — 3,05 л, из гранулированного конского навоза — 1,57 л, из свежего конского навоза + солома — 4,95 л из гранулированного конского навоза+ опилки — 4,09 л, в течение 40 дней.

Соответственно из 100 куб.м биомассы в первом варианте опыта можно получить 610 куб.м биогаза, во втором варианте – 314 куб.м, в третьем варианте — 990 куб. м, в четвертом – 532 куб.м, в пятом – 388 куб.м, в шестом – 342 куб.м, в седьмом – 344 куб.м, в восьмом – 602 куб.м, в девятом – 490 куб. м в десятом варианте — 356 куб. м.

**Таблица 3. Количество метана, которое можно получить из 100 куб. м исследованного сырья в месяц и его теплотворная способность**

Варианты	При 22 °С		При 27 °С	
	К-во метана из 100 м <sup>3</sup> сырья в месяц, м <sup>3</sup>	Общее к-во тепла в месяц, млн. кДж	К-во метана из 100 м <sup>3</sup> сырья в месяц, м <sup>3</sup>	Общее к-во тепла в месяц, млн. кДж
Свежий конский навоз	397	15,88	472	18,88
Конский навоз гранулир.	204	8,16	272	10,88
Свежий конский навоз+ солома	644	25,76	731	29,24
Гранулир. конский навоз+ солома	346	13,83	668	26,72
Гранулир. конский навоз+ опилки березы	252	10,08	304	12,16
Гранулир. конский навоз+ опилки осины	222	8,80	289	11,54
Гранулир. конский навоз+ опилки тополя	223	5,58	261	10,45
Свежий конский навоз+ опилки березы	391	15,64	468	18,72
Свежий конский навоз+ опилки осины	319	12,76	407	16,28
Свежий конский навоз+ опилки тополя	231	9,24	384	15,34

Поскольку только метан поставляет энергию из биогаза, целесообразно, для описания выхода газа и количества газа все относить к метану, с его нормируемыми показателями. Известно, что 65% биогаза это метан, а 30% - углекислый газ. Исходя из этого, объем метана, который можно получить из 100 куб.м биомассы в первом варианте опыта составит 397

куб.м, во втором – 204 куб.м, в третьем – 644 куб.м, в четвертом – 346 куб. м, в пятом - 252 куб.м, в шестом – 222 куб.м, в седьмом – 223 куб.м, в восьмом – 391 куб.м, в девятом – 319 куб.м, в десятом — 231 куб.м (таблица 2).

Теплотворная способность метана составляет 890 кДж/моль. Следовательно, выход общего количества тепла в месяц в первом варианте опыта составит 15,86 млн. кДж, во втором – 8,16 млн. кДж, в третьем – 25,76 млн. кДж, в четвертом – 13,83, в пятом - 10,08 млн. кДж, в шестом – 8,80 млн. кДж, в седьмом – 5,58 млн. кДж, в восьмом – 15,64 млн. кДж, в девятом – 12,76 млн. кДж, в десятом — 9,24 млн. кДж. Как видно из приведенных цифр, самый большой выход тепла в третьем варианте, где биомасса состояла из соломы и свежего конского навоза.

Анаэробная переработка органических отходов осуществляется при создании анаэробных условий без специальной микробной инокуляции за счет спонтанно развивающихся микроорганизмов, присутствующих в отходах и окружающей среде. Как указывается в литературе [4] биогаз — газ, получаемый метановым брожением биомассы. Разложение биомассы происходит под воздействием трех видов бактерий. В цепочке питания последующие бактерии питаются продуктами жизнедеятельности предыдущих. Первый вид — бактерии гидролизные, второй — кислотообразующие, третий — метанообразующие. В производстве биогаза участвуют не только бактерии класса метаногенов, а все три вида. Большинство протеолитических бактерий метантенков являются клостридиями. Обнаружены также обладающие протеолитической активностью бактерии родов *Peptococcus*, *Bifidobacterium*, *Eubacterium*, *Thermobacteroides*.

В связи с этим нужно отметить, что в гранулированном конском навозе сохраняется меньше микроорганизмов и процессы брожения и выделения биогаза идут медленнее и не так эффективно, как в варианте с одним навозом, так и в варианте с соломой.

Выход биогаза зависит от содержания сухого вещества и вида используемого сырья. Как известно из литературных данных, из тонны навоза крупного рогатого скота получается 50—65 м<sup>3</sup> биогаза с содержанием метана 60 %, 150—500 м<sup>3</sup> биогаза из различных видов растений с содержанием метана до 70 %. Максимальное количество биогаза — это 1300 м<sup>3</sup> с содержанием метана до 87 % — можно получить из жира [5]. В наших исследованиях так же отмечен наибольший выход биогаза в смеси свежего конского навоза и соломы.

В смеси опилок и конского навоза наилучший результат показала смесь из опилок березы и конского навоза, а минимальный смесь опилок тополя и навоза как свежего, так и гранулированного.

В литературе [5] указывается, что принципиальным так же является тот факт, что чем меньше частички субстрата, тем лучше. Чем больше площадь взаимодействия для бактерий и чем более волокнистый субстрат, тем легче и быстрее бактериям его разлагать. Кроме того, его проще перемешивать, *смешивать и подогревать* без образования плавающей корки или осадка. Чем короче период брожения, тем лучше должен быть измельчен материал.

Так как в следующих вариантах наших исследований мы увеличивали внешнюю температуру нашей установки, то следует сказать, что специально измельчалась только солома до размеров частиц в 1 см. Гранулы конского навоза имели диаметр 1 см, свежий конский навоз имел частички разного размера, но небольшого, опилки имели размер частиц не больше 0,5 см.

Корочек во всех вариантах наших исследований не образовывалось.

Скорость процесса брожения очень сильно зависит от температуры. Принципиально важной является закономерность: чем выше температура, тем быстрее происходит разложение и тем выше производство газа. Таким образом сокращается время разложения.

С учетом оптимизации процесса переработки органических отходов для получения биогаза выделяют, как мы уже говорили, три температурных режима:

- 1) психрофильный – до 20–25 °С;
- 2) мезофильный – 25–40 °С;

3) термофильный – свыше 40 °С.

Психрофильный режим не требует дополнительного подогрева и проходит без дополнительного контроля за температурой, используется в соответствующих климатических зонах, с показателями среднегодовой температуры, составляющими не менее 20°С.

**Таблица 3. Количество биогаза, полученного в эксперименте, (л) при температуре 27°С**

Варианты	Объем сырья (л) в каждой из трех повторн.	Количество биогаза, полученное через (л)						
		10 дней	20 дней	30 дней	40 дней	Итого	К-во метана за месяц	К-во биогаза из 100 м <sup>3</sup> сырья (м <sup>3</sup> )
Свежий конский навоз	0,5	0,19	0,94	1,86	0,64	3,63	2,36	726
Конский навоз гранулир.	0,5	0,17	0,58	0,98	0,36	2,09	1,39	418
Свежий конский навоз+ солома	0,5	0,71	1,80	2,14	0,97	5,62	3,65	1124
Гранулир. конский навоз+солома	0,5	0,67	1,68	1,99	0,80	5,14	3,34	1028
Гранулир. конский навоз+ опилки березы	0,5	0,43	0,26	1,12	0,53	2,34	1,52	468
Гранулир. конский навоз+ опилки осины	0,5	0,23	0,67	0,98	0,34	2,22	1,44	444
Гранулир. конский навоз+ опилки тополя	0,5	0,42	0,21	0,93	0,45	2,01	1,31	402
Свежий конский навоз+ опилки березы	0,5	0,59	0,33	1,84	0,84	3,60	2,34	720
Свежий конский навоз+ опилки осины	0,5	0,56	0,26	1,45	0,86	3,13	2,03	626
Свежий конский навоз+ опилки	0,5	0,57	0,19	1,32	0,87	2,95	1,92	590

тополя								
--------	--	--	--	--	--	--	--	--

Мезофильный и термофильный процессы требуют наличия внешнего источника тепла и строгого контроля за температурой. При этом чем выше температура, тем быстрее и с большей производительностью идет образование биогаза. Однако при высокой температуре процент метана в биогазе может быть снижен, это связано с тем, что при высоких температурах растворенная в субстрате двуокись углерода интенсивнее переходит в газообразную фазу (в биогаз). Кроме того, в отходах переработки после производства биогаза будет содержаться гораздо меньшее количество азота. При использовании термофильного режима отходы и фекальные массы, идущие на переработку, обеззараживаются в большей степени, чем при мезофильном, поэтому его целесообразнее применить в тех случаях, когда первостепенным моментом является именно обеспечение санитарной обработки [4]. Поэтому на практике в основном востребован мезофильный режим бактериологического производства биогаза, так как при обеспечении максимально возможной доли метана, в результате на выходе имеется еще и удобрение с высоким содержанием общего азота.

Требования к допустимым пределам колебания температуры для оптимального газообразования тем жестче, чем выше температура процесса сбраживания: при психрофильном температурном режиме –  $\pm 2$  °С в час; мезофильном –  $\pm 1$  °С в час; термофильном –  $\pm 0,5$  °С в час [4].

Как видно из таблицы 3 повышение температуры на 5 градусов повысило выход биогаза минимум на 12 % в варианте со свежим конским навозом + солома и максимум на 25% в варианте с гранулированным конским навозом. Соотношение выхода газа в вариантах с повышением температуры сохраняется таким же как и в вариантах с температурой 22 °С, т. е. Наибольший выход биогаза наблюдался в варианте со свежим конским навозом и соломой, в вариантах с опилками лучшим был результат свежий навоз+ опилки березы. Наибольшее количество биогаза так же выделялось на 30 день после закладки эксперимента.

Как видно из таблицы 2 самое большое количество тепла мы получили в варианте со свежим конским навозом и опилками

## **ВЫВОДЫ:**

1. Из исследованных нами вариантов самый большой выход тепла дал вариант, где биомасса состояла из соломы и свежего конского навоза. В вариантах с опилками наилучший результат дала смесь из свежего конского навоза и опилок березы.
2. При повышении внешней температуры нашей установки на 5°C было получено биогаза больше от 12 до 25%.
3. Количество тепла полученного при сжигании 731 м<sup>3</sup> метана из 100 м<sup>3</sup> биомассы, состоящей из свежего конского навоза и соломы, при повышении внешней температуры установки на 5°C, составила 29 млн кДж за месяц, что вероятно хватило бы для обогрева небольшого поселка.

## **Использованная литература:**

1. Кафаров В.В. принципы создания безотходных химических производств. М.: Химия, 1984
2. Доклад «О состоянии окружающей природной среды Краснодарского края в 2002 году».
3. Федорова А.И., Никольская А.Н. Практикум по экологии и охране окружающей среды: Учебное пособие для студентов высших учебных заведений. - Гуманит. Изд. Центр ВЛАДОС, 2001.
4. Садчиков А.В., Кокарев Н.Ф. Оптимизация теплового режима в биогазовых установках. // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 2-1. – С. 90-93;
5. Метантенки. Условия работы метантенка. Эффект сбраживания. [mastrekon.ru/metantenki/](http://mastrekon.ru/metantenki/)
6. Исчерпаемые природные ресурсы – виды и примеры исчерпаемых ... <https://ecoportal.info> › Ресурсы
7. Альтернативные источники энергии – [Electrik.info](http://Electrik.info) [electrik.info/main/news/614-alternativnye-istochniki-energii.html](http://electrik.info/main/news/614-alternativnye-istochniki-energii.html)