

ОФ «Флюид»  
Веденев А.Г., Веденева Т.А.

# Биогазовые технологии

Пособие





**ОФ «Флюид»  
Веденев А.Г., Веденева Т.А.**

# **Биогазовые технологии**

**Пособие**

**Бишкек,  
2017**

Веденев А.Г., Веденева Т.А.,  
ОФ «Флюид»

Биогазовые технологии. — Б., 2017. — 95 с. с иллюстрациями.

Пособие содержит обзор истории развития биогазовых технологий и их распространения в мире, типы и различные конструкции биогазовых установок, внедряемые в Кыргызской Республике и в других странах, критерии выбора подходящей конструкции и схемы, нормы эксплуатации и обслуживания.

Описываются особенности различного сырья и условия его переработки для получения биогаза и биоудобрений, использование биогаза в различных газовых приборах, для заправки автомобилей, производства электроэнергии, методы применения биоудобрений при выращивании сельскохозяйственных культур и в качестве кормовых добавок для животных.

Приводится оценка выгоды внедрения биогазовых технологий с экономической и экологической точки зрения на уровне фермерских хозяйств и на государственном уровне.

Для желающих построить биогазовую установку своими силами даны рекомендации и подробная спецификация на материалы и оборудование.

Пособие адресовано широкому кругу читателей: руководителям, сотрудникам НИИ и государственных учреждений, студентам учебных заведений, предпринимателям в области сельского хозяйства и фермерам.

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ЧАСТЬ 1 – ОСНОВЫ БИОГАЗОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....	5
ОСОБЕННОСТИ БИОУДОБРЕНИЙ .....	9
ЧАСТЬ 2 – СОСТАВ СЫРЬЯ И ПАРАМЕТРЫ ЕГО ПЕРЕРАБОТКИ .....	17
Параметры и оптимизация процесса сбраживания .....	18
Поддержка анаэробных условий в реакторе .....	18
Соблюдение температурного режима .....	18
Питательные вещества .....	19
Время сбраживания .....	19
Кислотно-щелочной баланс pH.....	20
Соотношение содержания углерода и азота.....	20
Выбор правильной влажности сырья .....	21
Регулярное перемешивание .....	22
Ингибиторы процесса.....	22
Типы сырья .....	23
Навоз КРС.....	23
Свиной навоз.....	23
Овечий и козий навоз .....	23
Куриный помет.....	23
Фекалии .....	23
Выход газа и содержание метана.....	23
Проблема корки .....	25
Состав сырья .....	25
ЧАСТЬ 3 – БИОГАЗОВЫЕ УСТАНОВКИ .....	27
Распространенные типы биогазовых установок.....	27
МЕТОДЫ ЗАГРУЗКИ.....	27
МЕТОДЫ СБОРА БИОГАЗА.....	28
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ, БЕТОННЫЕ И КИРПИЧНЫЕ РЕАКТОРЫ <sup>19,8</sup> .....	29
ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА .....	31
Биогазовые установки Кыргызстана .....	32
Строительство биогазовой установки .....	38
Выбор размера реактора .....	38
Выбор размера газгольдера .....	40
Выбор месторасположения установки .....	40
Выбор конструкции биогазовой установки .....	40
Реактор .....	40
Системы загрузки и выгрузки сырья .....	43
Системы сбора биогаза.....	44
Газгольдеры .....	46
Системы перемешивания .....	47
Системы подогрева сырья.....	48
Типы установок, рекомендуемых для внедрения в СНГ .....	50
Эксплуатация биогазовых установок <sup>21</sup> .....	54
Ежедневные операции .....	55
Еженедельные и ежемесячные операции .....	56
Ежегодные операции .....	56
Техника безопасности .....	56
Техническое обслуживание, мониторинг и ремонт .....	57
Мониторинг .....	58
Ремонт.....	58

<b>ЧАСТЬ 4 – ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОДУКТОВ ПРИМЕНЕНИЯ БИОГАЗОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ</b> .....	<b>60</b>
Использование биогаза.....	60
Газовые горелки .....	60
Двигатели, работающие на биогазе .....	62
Эффективность использования биогаза .....	63
Использование биоудобрений .....	64
<b>ОРГАНИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА В УДОБРЕНИЯХ</b> .....	<b>64</b>
<b>УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОЧВ</b> .....	<b>64</b>
<b>БОРЬБА С ВРЕДИТЕЛЯМИ И БОЛЕЗНЯМИ РАСТЕНИЙ (32)</b> .....	<b>65</b>
Эффективность воздействия биоудобрений на растения .....	65
Пшеница.....	65
Внесение биоудобрений .....	70
Кормовая добавка .....	70
Хранение биоудобрений .....	71
Оборудование для внесения биоудобрений .....	73
<b>ЧАСТЬ 5 – ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА БИОГАЗОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ</b> .....	<b>74</b>
<b>ВЫГОДЫ ДЛЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ХОЗЯЙСТВ</b> .....	<b>74</b>
Денежные эквиваленты индивидуальных выгод .....	74
Энергия .....	75
Биоудобрения .....	75
Стоимость биогазовой установки.....	78
Категории затрат .....	79
Макроэкономическая оценка.....	80
Экономический эффект биогазовых установок <sup>8</sup> .....	80
Энергетика и сельское хозяйство .....	80
Потенциал биоудобрений в Кыргызстане .....	82
Окружающая среда.....	84
Здравоохранение .....	84
Занятость .....	85
Социальная политика .....	85
Внедрение биогазовых технологий в Кыргызстане.....	85
Глобальные экологические выгоды биогазовых технологий .....	87
Парниковый эффект .....	88
Источники эмиссий метана в сельском хозяйстве <sup>8</sup> .....	88
Потенциал снижения выбросов метана с помощью биогазовых технологий.....	89
Снижение эмиссий закиси азота в сельском хозяйстве.....	89
Литература .....	90
Приложение А. Список демонстрационных биогазовых установок в Кыргызстане.....	91

## Введение

Сельское хозяйство Кыргызстана продолжает испытывать большие трудности, связанные с низким плодородием земель, растущими ценами на топливо и удобрения, ухудшающимся состоянием окружающей среды и общей бедностью сельского населения, в настоящий момент усугубляющиеся энергетическим кризисом. Выходом из замкнутого круга этих проблем может стать внедрение в хозяйства биогазовых технологий.

Биогаз, получаемый при переработке сельскохозяйственных отходов: навоза животных, огородной ботвы, сорной растительности и пищевых отходов на биогазовых установках, можно использовать в любых бытовых газовых приборах, а переработанное сырье представляет собой высокоэффективные органические биоудобрения, применение которых способно увеличить продуктивность земель на 15-200%.

В настоящее время накоплен значительный материал по внедрению технологий анаэробной переработки сельскохозяйственных отходов и использования биогаза и удобрений, получаемых из сельскохозяйственных отходов. Аналогичный опыт есть и в Кыргызстане, где первые экспериментальные установки были созданы в 1980-е годы в Национальной Академии Наук.

В последние годы, в результате инициативы фермеров, ряда частных предприятий и неправительственных организаций, а также поддержки международных организаций и программ (Программа развития ООН, Немецкое общество технического сотрудничества GIZ, Японское агентство по международному сотрудничеству JICA, Программа Малых Грантов Глобального Экологического Фонда, Европейская комиссия, программа BAS Европейского Банка Реконструкции и Развития) интерес к биогазовым установкам постоянно растет.

В нем приводятся различные конструкции и список составных частей биогазовых установок, критерии их выбора для нужд хозяйства, а также нормы эксплуатации и обслуживания, необходимого для успешного функционирования установок. Описываются и оцениваются наиболее распространенные конструкции установок, включая установки, уже построенные в Кыргызстане, а также приводятся рекомендации по выбору наиболее подходящих для условий Республики конструкций.

Описываются способы использования продуктов анаэробной переработки сырья - биогаза и биоудобрений, экономические и экологические выгоды их использования, стоимость и сроки окупаемости биогазовых установок.

В заключении приводится список действующих демонстрационных биогазовых установок в Кыргызской Республике.

Авторы выражают особую благодарность местным экспертам и специалистам, а также же Интернет-ресурсам, данные и разработки которых были использованы при составлении Руководства.

## Часть 1 – Основы биогазовых технологий

### Что такое биогазовая установка?

Биогазовая установка представляет собой герметически закрытую емкость, в которой при определенной температуре происходит анаэробное сбраживание органической массы отходов (навоза), сточных вод и т.п. с образованием биогаза.

Принцип работы всех биогазовых установок одинаков: после сбора и подготовки сырья, заключающейся в доведении его до нужной влажности в специальной емкости, оно подается в реактор, где создаются условия для оптимизации процесса переработки сырья.

Полученный биогаз, состоящий на 60-70% из метана, после очистки, собирается и хранится до времени использования в газгольдере. От газгольдера к месту использования в газовых приборах биогаз проводят по газовым трубам.

Теплотворная способность одного кубометра биогаза составляет в зависимости от содержания метана, 20-25 МДж/ м<sup>3</sup>, что эквивалентно сгоранию 0,6 – 0,8 литра бензина; 1,3 - 1,7 кг дров или использованию 5 - 7 кВт электроэнергии.

Для достижения качественного сжигания газового топлива, в том числе и биогаза, и повышения эффективности его использования, ОФ «Флюид» использует во всех горелках керамические излучатели, которые обеспечивает большую теплоту сгорания газового топлива по сравнению с факельными горелками. Это перфорированные керамические плитки, которые дают возможность повысить температуру излучающей поверхности до 900° С и выше. Передача тепла происходит в основном (40-60%) за счет излучения, и расход газа экономится до 30%.

Переработанное в реакторе биогазовой установки сырье – метановый эффлюент, являющийся высокоэффективными жидкими биоудобрениями, выгружается через выгрузное отверстие и вносится в почву или используется как кормовая добавка для животных.

Биогазовая установка с объемом реактора 25 м<sup>3</sup> способна перерабатывать в мезофильном режиме до 1,2 тонны навоза в сутки и производить около 35 м<sup>3</sup> биогаза и тонну жидких экологически чистых биоудобрений, норма внесения которых – от 1 до 7 тонн на гектар. Получаемые 35 м<sup>3</sup> биогаза достаточны для отопления 100 м<sup>2</sup> жилой площади, приготовления пищи и обеспечения горячей водой семьи из 5-6 человек. Установки большей мощности могут использоваться для производства электроэнергии.

Биоудобрение содержит ряд органических веществ, которые вносят вклад в увеличение проницаемости и гигроскопичности почвы, в то же время, предотвращая эрозию и улучшая общие почвенные условия. Органические вещества также являются базой для развития микроорганизмов, которые переводят питательные вещества в форму, которая легко может быть усвоена растениями.

Практика показывает, что урожайность растений при применении биоудобрений значительно повышается, при переработке навоза в биогазовых установках уничтожаются семена сорняков и патогенная микрофлора.

Полевые опыты показывают высокую эффективность применения биоудобрений для повышения урожайности всех сельскохозяйственных культур. В среднем, увеличение урожайности, в зависимости от выращиваемой культуры, колеблется от 15% до 300%.

Мощность построенных ОФ «Флюид» установок уже позволяет производить более 70 000 тонн биоудобрений и более 2 миллионов кубометров биогаза в год.



Рис.1. Схема переработки органических отходов на биогазовых установках



Рис.2. Диаграмма цикла использования биогазовых установок на ферме, Центр развития ВИЭ и энергоэффективности, [www.creed.net](http://www.creed.net), 2013

### **Оптимизация процесса переработки сырья**

Условия, необходимые для переработки органических отходов внутри реактора биогазовой установки, кроме соблюдения анаэробного (бескислородного) режима, включают:

- Соблюдение температурного режима;
- Регулярное перемешивание сырья в реакторе;
- Доступность питательных веществ для бактерий;
- Выбор правильного времени сбраживания и своевременная загрузка свежего сырья и выгрузка сброженного эффлюента;
- Соблюдение кислотно-щелочного баланса;
- Соблюдение соотношения содержания углерода и азота;
- Правильную влажность сырья и регулярное перемешивание;
- Отсутствие ингибиторов процесса.

### **Типы биогазовых установок**

Биогазовые установки различаются по размеру, режиму загрузки сырья, по расположению реакторов и по внешнему виду и составным частям конструкции и материалам, из которых они сооружаются.

В зависимости от их **относительного размера**, функции и расположения, сельскохозяйственные биогазовые установки классифицируются как:

- Семейные установки (с объемами реакторов до 15 м<sup>3</sup>);
- Фермерские установки (с объемами реакторов до 250 м<sup>3</sup>);
- Промышленные установки (с объемами реакторов от 250 м<sup>3</sup>);

По **режиму загрузки** сырья выделяют установки **порционной и непрерывной загрузки**, которые отличаются временем сбраживания и регулярностью загрузки сырья. Наиболее эффективными с точки зрения выработки биогаза и получения биоудобрений являются установки непрерывной загрузки.

По **конструкции и внешнему виду** установки различаются в зависимости от способа накопления и хранения биогаза. Газ может собираться в верхней твердой части реактора, под гибким куполом или в специальном газгольдере, плавающем или стоящим отдельно от реактора.

Кроме того, установка может быть **наземной, подземной и полуподземной по расположению**. Конструкции и технологии биогазовых установок отличаются от страны к стране, в зависимости от климатических условий и национальных рамочных условий (законодательство, энергетическая политика), наличия энергосети и доступности энергии для населения.

### **Выгоды применения биогазовых технологий**

Хорошо функционирующая биогазовая установка приносит ряд преимуществ ее владельцу, обществу и окружающей среде в целом:

#### **Энергия**

- Снижает затраты на топливо и электрическую энергию;

#### **Сельское хозяйство**

- Снижает затраты на минеральные удобрения;
- Повышает урожайность и качество сельскохозяйственных культур;
- Поддерживает животноводство;

#### **Санитария**

- Улучшает санитарные условия животноводческих хозяйств;
- Снижает загрязнение воздуха азотистыми соединениями, имеющими неприятный запах;
- Снижает загрязнение водных ресурсов навозными стоками;

#### **Окружающая среда**

- Восстанавливает деградированную почву;
- Снижает темпы обезлесения;
- Снижает выбросы парниковых газов;

#### **Гендер**

- Экономия времени и женского труда на сбор, транспортировку, сушку топлива; на процесс приготовления пищи; и на процесс мытья посуды; на прополку сорняков, вносимых с обычным навозом;

#### **Здоровье**

- Технология предполагает отсутствие дыма и сажи, снижая, особенно для женщин, риск респираторных и глазных заболеваний за счет очистки воздуха в результате сокращения объемов сжигаемых и складированных органических отходов;

#### **Быстрая окупаемость установок:**

- Биогазовая технологии показывают самую быструю окупаемость среди возобновляемых источников энергии – установки окупаются в среднем за 2-3 года эксплуатации.

## Подробнее о биогазе

Биогаз образуется с помощью бактерий в процессе разложения органического материала при анаэробных (без доступа воздуха) условиях и представляет собой смесь метана и других газов в следующих пропорциях:

**Таблица 1. Состав биогаза<sup>13</sup>**

Газ	Химическая формула	Объем
Метан	CH <sub>4</sub>	40 -70%
Углекислый газ	CO <sub>2</sub>	30 -60%
<b>Другие газы:</b>		1 -5%
Водород	H <sub>2</sub>	0 -1%
Сероводород	H <sub>2</sub> S	0 -3%

**Теплотворная способность** одного кубометра биогаза составляет в зависимости от содержания метана, 20-25 МДЖ/ м<sup>3</sup>, что эквивалентно сгоранию 0,6 – 0,8 литра бензина; 1,3 - 1,7 кг дров или использованию для получения тепла 5 - 7 кВт электроэнергии<sup>13</sup>.

### **Биологический процесс брожения**

В процессе сбраживания сырья в биогазовых установках бактерии, производящие метан, разлагают органическое вещество и возвращают продукты разложения в виде биогаза и других компонентов в окружающую среду. Знание процесса сбраживания необходимо для выбора конструкции, строительства и эксплуатации биогазовых установок.

### **Состав сырья и производство биогаза**

В принципе, все органические вещества подвержены процессам брожения и разложения. Однако в простых биогазовых установках предпочтительно перерабатывать только однородные и жидкие органические отходы: пищевые отходы, экскременты и урину скота, свиней и птиц, человеческие фекалии.

В более сложных биогазовых установках можно перерабатывать и другие виды органических отходов – растительные остатки и твердые мусорные отходы. Объем вырабатываемого биогаза зависит от типа используемого сырья и температуры процесса сбраживания.

### **Использование биогаза**

Биогаз может быть использован в любых газовых приборах, так же, как используется природный газ - метан. Наиболее эффективным является использование биогаза для приготовления пищи, обогрева помещений, выработки электроэнергии и заправки автомобилей.

## О биоудобрениях

В Кыргызстане, как и во многих других развивающихся странах, существует прямая связь между проблемой удобрений и деградацией земель, а так же проблемой вырубки лесов из-за высокого спроса на дрова. В сельской местности часто сжигают высушенный навоз (кизьяк) и органические отходы для приготовления пищи и обогрева жилых помещений.

Такое использование органических отходов является причиной значительных потерь растительных питательных веществ, в которых так нуждается сельское хозяйство для поддержки плодородия почв. Применение биогазовых технологий обеспечит максимальное использование доступных сельскому населению ресурсов: остающийся после выработки биогаза шлам представляет собой удобрение, повышающее общее качество земель и увеличивающее урожайность.



**Рис.3. Эффект применения биоудобрений на рост лука, вес 1 луковицы – 700 грамм**  
Фото: Веденева Т.А., ЦРВИЭЭ

### **Особенности биоудобрений**

Биоудобрение содержит ряд органических веществ, которые вносят вклад в увеличение проницаемости и гигроскопичности почвы, в то же время, предотвращая эрозию и улучшая общие почвенные условия. Органические вещества также являются базой для развития микроорганизмов, которые переводят питательные вещества в форму, легко усваиваемую растениями. Практика показывает, что урожайность растений при применении биоудобрений значительно повышается.

### **История развития биогазовых технологий**

Отдельные случаи использования примитивных биогазовых технологий были зафиксированы в Китае, Индии, Ассирии и Персии, начиная с XVII века до нашей эры. Однако систематические научные исследования биогаза начались только в XVIII веке нашей эры, спустя почти 3,5 тысячи лет.

В 1764 году Бенджамин Франклин в своем письме Джозефу Пристли описал эксперимент, в ходе которого он смог поджечь поверхность мелкого заболоченного озера в Нью Джерси, США.

Первое научное обоснование образования воспламеняющихся газов в болотах и озерных отложениях дал Александр Вольта в 1776 г., установив наличие метана в болотном газе. После открытия химической формулы метана Дальтоном в 1804 году, европейскими учеными были сделаны первые шаги в исследованиях практического применения биогаза<sup>23</sup>.

Свой вклад в изучение образования биогаза внесли и российские ученые. Влияние температуры на количество выделяемого газа изучил Попов в 1875 году. Он выяснил, что речные отложения начинают выделять биогаз при температуре около 6° С. С увеличением температуры до 50° С, количество выделяемого газа значительно увеличивалось, не меняясь по составу - 65% метана, 30% углекислого газа, 1% сероводорода и незначительное количество азота, кислорода, водорода и закиси углерода. В.Л. Омелянский детально исследовал природу анаэробного брожения и участвующие в нем бактерии<sup>19</sup>.

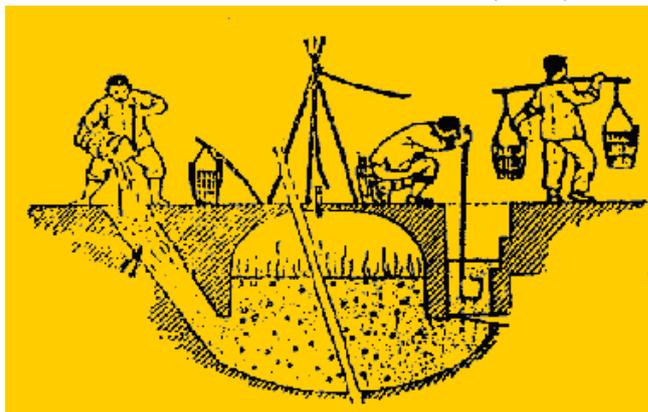
Вскоре после этого, в 1881 году, начались опыты европейских ученых по использованию биогаза для обогрева помещений и освещения улиц. Начиная с 1895 года, уличные фонари в одном из районов города Эксетер снабжались газом, который получался в результате брожения сточных вод и собирался в закрытые емкости<sup>23</sup>. Два года спустя появилось сообщение о получении биогаза в Бомбее, где газ собирался в коллектор и использовался в качестве моторного топлива в различных двигателях.

В начале XX века были продолжены исследования в области повышения количества биогаза путем увеличения температуры брожения. Немецкие ученые Имхофф и Бланк в 1914-1921 гг. запатентовали ряд нововведений, которые заключались во введении постоянного подогрева емкостей. В период Первой Мировой Войны началось распространение биогазовых установок по Европе, связанное с дефицитом топлива. Хозяйства, где имелись такие установки, находились в более благоприятных условиях, хотя установки были еще несовершенные и в них использовались далеко не оптимальные режимы.

Одним из важнейших научных шагов в истории развития биогазовых технологий являются успешные эксперименты Бусвелла по комбинированию различных видов органических отходов с навозом в качестве сырья в 30-х годах XX столетия<sup>23</sup>.

Первый крупномасштабный завод по производству биогаза был построен в 1911 году в английском городе Бирмингеме и использовался для обеззараживания осадка сточных вод этого города. Вырабатываемый биогаз использовался для производства электроэнергии. Таким образом, английские ученые являются пионерами практического применения новой технологии. Уже к 1920 году они разработали несколько типов установок для переработки сточных вод. Первая биогазовая установка для переработки твердых отходов объемом 10 м<sup>3</sup> была разработана Исманом и Дюселье и построена в Алжире в 1938 году<sup>19</sup>.

В годы Второй Мировой Войны, когда энергоносителей катастрофически не хватало, в Германии и Франции был сделан акцент на получение биогаза из отходов сельскохозяйственного производства, главным образом, навоза животных. Во Франции к середине 40-х годов



**Рис.4. Простейшая китайская установка**

Источник: Ю. Калмыкова, А. Герман, В. Жирков  
«Проект Биогаз», Карагандинский Экологический Музей, 2005

эксплуатировалось около 2 тыс. биогазовых установок для переработки навоза. Вполне естественно, этот опыт распространялся на соседние страны. В Венгрии существовали фабрики для производства биогаза. Это отмечают солдаты Советской Армии, в основном, выходцы из сельских районов СССР, освобождавшие Венгрию от немецких войск и удивлявшиеся, что в крестьянских хозяйствах навоз скота не лежал в кучах, а загружался в закрытые емкости, откуда получали горючий газ<sup>19</sup>.

Европейские установки довоенного периода не выдержали конкуренции в послевоенное время со стороны дешевых энергоносителей (жидкое топливо, природный газ, электроэнергия) и были демонтированы. Новым импульсом для их развития на новой основе стал энергетический кризис 70-х годов, когда началось стихийное внедрение биогазовых установок в странах юго-восточной Азии. Высокая плотность населения и интенсивное использование всех пригодных для возделывания сельскохозяйственных культур площадей земли, а также достаточно теплый климат, необходимый для использования биогазовых установок в самом простом варианте без искусственного подогрева сырья легли в основу различных национальных и международных программ по внедрению биогазовых технологий.

Сегодня биогазовые технологии стали стандартом очистки сточных вод и переработки сельскохозяйственных и твердых отходов и используются в большинстве стран мира. Мировой рынок биогазовых технологий значительно вырос в последние годы - многие страны развили современные биогазовые технологии и конкурентоспособные национальные рынки биогаза в результате десятилетий интенсивных исследований и практических опытов при поддержке со стороны государств и общественности.

Европейский сектор биогазовых технологий включает тысячи установок и такие страны как Германия, Австрия, Дания и Швеция являются техническими лидерами с наибольшим числом установок. Большинство установок в Азии используют простые технологии, легкие конструкции которых легко воспроизвести. По другую сторону Атлантики, США, Канада и многие латиноамериканские страны находятся на пути к развитию современного биогазового сектора и внедряют поддерживающие это развитие нормативные и политические условия.

Важные исследовательские инициативы вместе с практическими опытами реализуются во всем мире для улучшения технологий переработки, повышения стабильности и надежности процесса переработки через улучшение реакторов, добавок, систем загрузки, хранения и других составных частей биогазовых систем.

Например, биогаз очищается и используется в качестве транспортного топлива в таких странах, как Швеция, Швейцария и Германия, где существуют развитые сети заправок для автомашин и станций очистки и передачи биогаза в сеть. Одним из перспективных новых направлений является использование биогаза в топливных элементах, все шире распространяющееся в Европе и США.

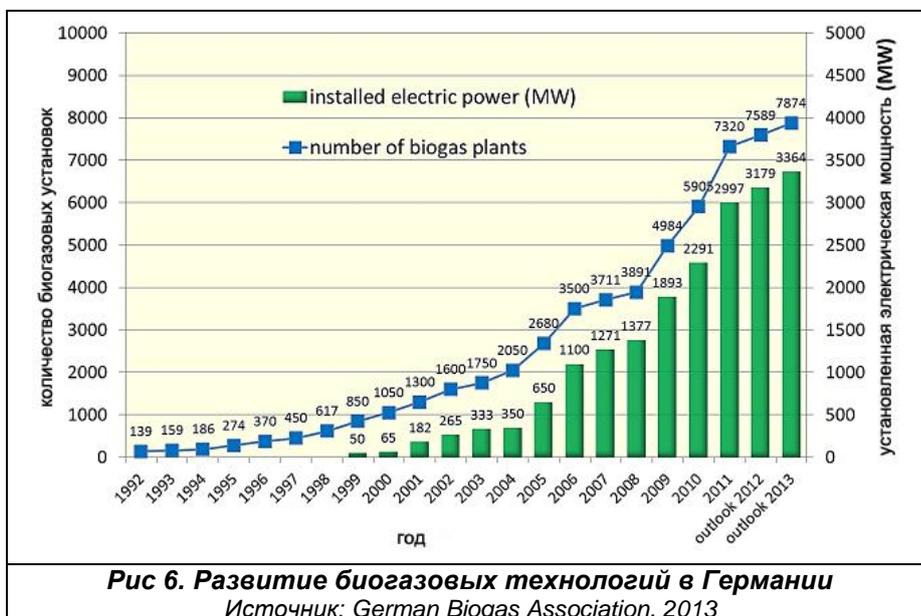
### Развитые страны

В большинстве развитых стран переработка органических отходов в биогазовых установках чаще используется для производства тепловой энергии и электричества. Для достижения целей государств-членов Европейского Союза, поставленных ими в рамках политики 20-20-20 и для



**Рис.5. Индустриальная биогазовая установка в Дании**

Источник: «Biomass Energy Systems»,  
ACRE, the Australian CRS for Renewable Energy Ltd,  
<http://www.phys.murdoch.edu.au/acre/>.



**Рис 6. Развитие биогазовых технологий в Германии**

Источник: German Biogas Association, 2013

выполнения требований директив ЕС по переработке отходов, анаэробное сбраживание является ключевой технологией. В 2010 ЕС произвел 21,1 млрд кубометров биогаза, производство электричества из которого в 2011 возросло за год на 18,2% и достигло 35,9 ТВт, а производство тепла продаваемого фабрикам и теплосетям возросло на 16%.

Использование электроэнергии и тепла, производимого с помощью анаэробной переработки биомассы в Европе сосредоточено, в основном, в Австрии, Финляндии, Германии, Дании и Великобритании.

На данный момент лидером по количеству биогазовых установок является **Германия**, где работает более 7,5 тысяч больших биогазовых установок, которые обеспечивают более 3% потребления электроэнергии в стране, а также значительные количества индустриальной тепловой энергии, транспортного топлива и очищенного биогаза, передаваемого на потребление через газовую сеть. Количество установок с объемами реакторов свыше 2000 м<sup>3</sup> в **Австрии** составляет 350 и они вырабатывают 121-182 миллиона кубометров биогаза в год.

В **Дании** построено 82 больших биогазовых установок с объемами реакторов от 850 до 14600 м<sup>3</sup>, в 2013 году планируется строительство еще 58 крупных установок, а также большое количество маленьких и средних установок. Кроме того, в 2007 году в Дании была запущена в работу самая большая исследовательская установка в мире – установка Фулум, принадлежащая Факультету сельскохозяйственных наук Аархусского университета<sup>44</sup>. Установка была построена на средства датских и зарубежных компаний-производителей оборудования и может быть использована для экспериментов любыми исследователями. Установка состоит из демонстрационной установки объемом 1200 м<sup>3</sup> и тестовой установки с 4-мя реакторами – два по 10 м<sup>3</sup> и 2 по 30 м<sup>3</sup>, работает на смешанном сырье в термофильном режиме и производит тепловую энергию для исследовательского центра и электричество, которое продает в национальную сеть.

Во **Франции** развитие биогазовых технологий не прекращается с 2000 года и, хотя страна обладает наибольшим в Европе потенциалом по переработке сельскохозяйственных отходов, к 2012 году было построено только 105 фермерских и централизованных установок. Темпы прироста количества установок заметно увеличились с начала 2008 года и ожидают большего увеличения после введения новых мер по стимуляции строительства биогазовых установок в 2011 году – планируется довести количества установок до 1000.

**Швеция** является лидером по очистке и использованию биометана в качестве транспортного топлива и многие виды транспорта используют биогаз, включая частные авто, автобусы и даже работающие на биогазе поезда. На конец 2012 года. Более 44 тысяч транспортных средств в Швеции работало на газе: увеличение на 14% с 2011 года. В то же самое время количество установок, поставляющих биогаз для транспортной сети увеличилось до 47, показывая рост в 22% с 2008 года.

В **Англии**, на родине первой индустриальной биогазовой установки, нужны сельского хозяйства в энергии полностью покрываются за счет биогаза с начала 1990-х годов, в том числе и от работы 110 биогазовых установок по переработке навоза.

В 30-е годы опыт Европы был перенесен в **США**. Биогазовая установка по переработке животноводческих отходов была построена в 1939 году и успешно работала в течение более, чем 30 лет. По данным AgSTAR<sup>45</sup> в мае 2013 в **США** насчитывалось около 200 крупных биогазовых установок, перерабатывающих отходы животноводства, большинство из которых работает на навозе молочного КРС и свином навозе (167 и 23 установки соответственно). Биогаз используется на фермах и только на 250 установках для переработки сточных вод, в основном, для получения тепловой и электрической энергии, общая установленная мощность проектов – 117 МВт, около 60 МВт установленной мощности производят электричество.

Проект BioGasIN Европейской Комиссии собрал и предоставил информацию о количестве и потенциале развития биогазовых технологий в 7 странах **Центральной и Восточной Европы**:



**Рис 7. Расположение биогазовых установок в Англии**

Источник: *BioGas.info.uk.co*, 2013

Болгарии, Хорватии, Чешской Республике, Греции, Латвии, Румынии и Словении. Лидером среди этих стран является **Чешская Республика**, в которой успешно функционирует 91 биогазовая установка, неплохие темпы развития показывают **Словения** (около 50 установок) и **Латвия** (35 установок), в то время как потенциал остальных стран остается, в большинстве своем, неразвитым по причинам недостаточных рамочных условий для строительства новых установок, сложности получения разрешительных документов и неадекватных механизмов финансирования.

Потенциал Европы по переработке навоза составляет 20,5 млрд кубометров биометана, или 738 ПДж, потенциал Китая – 72 млрд м<sup>3</sup> биометана, а мировой потенциал составляет около 280 млрд м<sup>3</sup> эквивалента метана в год. Точных данных по мировому производству энергии из биогаза нет, но можно примерно подсчитать, что биогаз предоставляет около 30-40 млрд кубометров эквивалента метана, или 1080-1440 ПДж, то есть пока реализована только малая часть мирового потенциала.

### Развивающиеся страны

Среди развивающихся стран распространено производство энергии и тепла с помощью переработки отходов на небольших биогазовых установках.

Около 45 миллионов хозяйств по всему миру используют энергию, производимую в биогазовых установках, для освещения, обогрева и приготовления пищи. Это включает 42,8 миллиона хозяйств в **Китае**, 4,5 миллиона хозяйств в **Индии**, а также 478 тысяч хозяйств в **Африке и Азии**, построенных при поддержке SNV – Нидерландской организацией развития и других международных организаций. В 8 азиатских (лидеры – Непал и Вьетнам) и 9 африканских (лидер - Кения) странах были начаты национальные программы по развитию устойчивых и коммерчески выгодных секторов биогазовых технологий.

История современного широкомасштабного использования биогазовых установок в **Китае** насчитывает более полувека. Первые биогазовые установки были построены в 40-х годах XX века зажиточными семьями. С начала 70-х годов исследовательская работа и биогазовые технологии были серьезно поддержаны правительством Китая.

В результате в сельских районах Китая в настоящее время около 100 миллионов человек пользуются биогазом в качестве топлива. Типичная биогазовая установка имеет объем реактора около 6-8 м<sup>3</sup>, производит 300 м<sup>3</sup> биогаза в год, работая ежегодно от 3 до 8 месяцев, и стоит около \$200–250, в зависимости от провинции. Большинство установок очень просты и после определенного обучения фермеры строят и эксплуатируют установки самостоятельно.

С 2002 года правительство Китая выделяет ежегодно около 200 миллионов долларов на поддержку строительства биогазовых установок. Дотация на каждую установку равняется примерно 50% средней стоимости. Таким образом, правительство добилось годового роста количества



**Рис 8. Баллонная установка в Кот-д'Ивуаре**

Источник: AT Information: Biogas, GTZ (ISAT), Eshborn, Deutschland, 1996

Страна	Начало программ по установке БГУ	Количество установок на 1 полугодие 2012
<b>Азия</b>		
Непал	1992	268418
Вьетнам	2003	140698
Бангладеш	2006	23611
Камбоджия	2006	17450
Лаос	2006	2750
Пакистан	2009	2097
Индонезия	2009	5572
Бутан	2011	155
<b>Всего в Азии</b>		<b>460751</b>
<b>Африка</b>		
Руанда	2007	2171
Эфиопия	2008	3232
Танзания	2008	3334
Кения	2009	4917
Уганда	2009	2325
Буркина Фасо	2009	1177
Камерун	2009	111
Бенин	2010	42
Сенегал	2010	334
<b>Всего в Африке</b>		<b>17643</b>
<b>Итого</b>		<b>478359</b>

**Таблица 2. Количество построенных в Азии и Африке биогазовых установок при помощи SNV, WWF, WB и ADB**

Источник: www.snvworld.com, 2013.

биогазовых установок до 1 миллиона в год<sup>24</sup> и планирует увеличить количество мелких установок до 80 миллионов к 2020 году.

На индустриальной основе в Китае работают на 2013 год 60 тысяч установок - средних и крупных и к 2020 планируется увеличение их количества на 16 тысяч с установленной мощностью 3000 МВт и общим производством биогаза 50 млрд м<sup>3</sup>, эквивалентным 30 млрд м<sup>3</sup> биометана.

Политика субсидий Китайского правительства привела к выдающимся темпам развития биогазовой индустрии в Китае. На 2010 год в Китае работало около 4 тысяч компаний по строительству и техническому обслуживанию биогазовых установок, существуют отдельные компании по разработке дизайнов, в каждом университете были организованы исследовательские группы по биогазовым технологиям, основаны национальные институты – такие как Китайская Биогазовая Ассоциация (China Biogas Association (CBA)) и Биогазовый институт при Министерстве сельского хозяйства (Biogas Institute of the Ministry of Agriculture (BIOMA)).

В Китае разработано около 10 технических стандартов по биогазовым установкам, которые, однако, не соответствуют международным стандартам

качества и не являются обязательными для соблюдения при строительстве установок. Поэтому работа биогазовых установок не отличается особой эффективностью – нет контроля над сырьем, процессом переработки. На 2010 год всего несколько установок передают электричество в сеть, только 7 из них зарегистрированы как проекты механизма чистого развития (CDM projects) и только один способен получить баллы по программе снижения выбросов парниковых газов.

Политика субсидий была успешной для массового строительства, но не для качества установок, и не для использования продуктов переработки – например, биогаз часто выбрасывается в атмосферу, а большая часть установок конструктивно несовершенна и показывает низкую эффективность работы. Именно поэтому самым результативным методом стимуляции строительства и эффективной и постоянной эксплуатации биогазовых установок является полностью определенный механизм продажи электричества от ВИЭ по льготным тарифам – он направлен на результат и качество технологий, а не на увеличение количественных показателей.

В Индии, развитие простых биогазовых установок для сельских усадеб началось в 50-х годах XX века, хотя еще в 1859 году в Бомбее была построена первая биогазовая установка на базе колонии больших проказой для переработки твердых и жидких отходов<sup>19</sup>.

Большое увеличение числа биогазовых установок, обеспеченное правительственной поддержкой, наблюдалось в 70-х годах. На сегодняшний день, в Индии работает около 4,5 миллионов биогазовых установок, однако около 20-30% из них не работают<sup>40</sup>. Министерство нетрадиционных источников энергии Индии занималось внедрением биогазовых установок с 1980 годов и предоставляло субсидии и финансирование для строительства и эксплуатации биогазовых установок, обучение фермеров, открытие и работу сервисных центров.

В Непале, Программа поддержки биогазовых технологий предоставляет техническую экспертизу, финансирование и строительство биогазовых установок для хозяйств с объемом реакторов 4-20 м<sup>3</sup>, особо популярны установки объемом 6 м<sup>3</sup>. Кроме предоставления энергии и удобрений, в Непале было замечено уменьшение тяжести женского труда путем сокращения времени на сбор дров, годовые сбережения от замены 25 литров керосина на хозяйство биогазом и годовые сбережения от замены 3 тонн дров и угля.

Во время реализации программы, возникло и развилось 80 частных фирм-производителей установок с более чем 200 офисами по всей стране; около 100 организаций микро-финансирования предоставляли средства на строительство установок, были приняты стандарты качества установок и создана постоянная организация по развитию рынка биогазовых технологий<sup>24</sup>.

К июлю 2012 более 268 тысяч биогазовых установок были построены в Непале, некоторые из которых работают уже более 30 лет. По результатам технического аудита установок, проведенного в

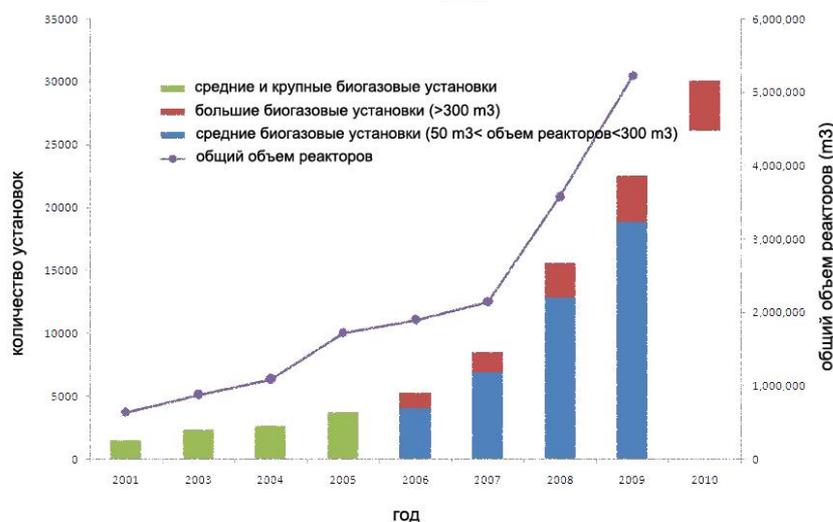


Рис 9. Средние и крупные биогазовые установки Китая 2001 – 2010.

Источник: China Biogas Association, BIOMA and NDRC, 2006 - 2020.

2008 году, в стране работает более 300 институциональных и 90 общинных установок с объемами реакторов более 75 м<sup>3</sup>.

В **Африке** несмотря на большой потенциал, составляющий около 18,5 млн мелких хозяйств, не было попыток внедрить крупномасштабные программы по развитию биогазовых технологий до 2007, когда SNV начал работу по внедрению технологий в Руанде. Затем работа была расширена на еще 6 стран (Сенегал, Буркина Фасо, Эфиопия, Танзания, Уганда, и Кения), где, совместно с поддержкой от Nivos биогазовыми установками к 2013 году были обеспечены около 20,000 домов.

Средняя стоимость домашних биогазовых установок составляет от 400 до 700 USD, и правительства предлагают субсидии от 10% во Вьетнаме, 26% в Непале и Бангладеш, и до 69% в Китае. Владельцы установок в Азии часто (в 54-86% случаев) используют кредиты для строительства установок. Однако вложения в биогазовые установки, в соответствии с результатами мониторинга в Индии, Индонезии, Шри-Ланке для маленьких бизнесов (текстиль, сушка специй, кирпичей), окупались менее, чем за 1 сезон.

В **Латинской Америке** было построено некоторое количество биогазовых установок, многие из которых – в начале 20 века, однако абсолютное число установок по переработке навоза в Аргентине, Бразилии, Чили и Мексике, пока не превышает 15-45 установок на страну, и только некоторые из них производят электричество.

Основными проблемами, тормозящими развитие применение биогазовых технологий в больших масштабах в развивающихся странах (например, для подачи энергии в национальные сети, использование в транспортном секторе), можно назвать низкую осведомленность с технологией очистки биогаза для использования в сетях, юридические препятствия местного законодательства и слабо развитая экономика страны.

### **СССР, СНГ и Кыргызстан**

В СССР научные основы метанового брожения исследовались, начиная с 40-х годов XX века. На протяжении существования СССР, в теоретических исследованиях участвовали институты системы Академии Наук, а прикладные исследования проводились в Академии коммунального хозяйства им. Панфилова и исследовательских и проектных институтах сельскохозяйственного направления, таких как: Всесоюзный институт электрификации сельского хозяйства (ВИЭСХ), Украинский научно-исследовательский и проектный институт агропромышленного комплекса (УкрНИИгипросельхоз), и других<sup>19</sup>.

Применение технологии метанового сбраживания к сельскохозяйственным отходам в СССР были начаты Г.Д.Ананиашвили в 1948 г в Тбилисском филиале ВИЭСХ, впоследствии ГрузНИИМЭСХ (ГИМЭ). Там в 1948-1954 гг. была разработана и построена первая в СССР лабораторная и производственная биоэнергетическая установка. Производственный вариант установки был рассчитан на утилизацию навоза от 10 коров. Переработка проводилась при мезофильном режиме (32...34 град. С). Установка обеспечивала удельный выход биогаза 1 м<sup>3</sup>. газа с 1 м<sup>3</sup>. реактора. На основе этого опыта в популярной литературе («Юный техник», 1959 г. № 6) появилось одно из первых сообщений, популяризирующий биогазовую технологию с рекомендациями по ее реализации в



**Рис. 10. Биогазовая установка в КХ «Ак-Сарай», Сокулукский район, с. Первое мая, Кыргызская Республика (объем реакторов 200 м<sup>3</sup>).**

*Фото: Веденев А.Г., ОФ «Флюид»*



**Рис.11. Установка в с. Ак-Муз, Атбашинский район, Нарынская область, Кыргызская Республика (объем реакторов 25 м<sup>3</sup>).**

*Фото: Веденева Т.А., ОФ «ЦРВИЭЭ»*

условиях частного хозяйства. Однако технология не получила широкого распространения вследствие дешевизны энергоресурсов и отсутствия крупных животноводческих хозяйств.

В середине 70-х годов, с наступлением мирового энергетического кризиса, руководство СССР решило проводить в стране политику энергосбережения. Кроме того, в сельском хозяйстве стали применяться интенсивные технологии, было создано много крупных животноводческих комплексов, которые столкнулись с проблемой утилизации навозных стоков. В этой связи, интерес к биогазовым технологиям возрос и в 1981 г. при Госкомитете по науке и техники СССР была создана специализированная секция по программе развития биогазовой отрасли промышленности. Предложения по развитию технологии микробиологической анаэробной технологии вошли в директивные документы СССР, но не были обеспечены надлежащими денежными и материальными ресурсами, многие из намечавшихся мероприятий по освоению технологии анаэробной переработки биомассы остались невыполненными.

Несмотря на это, нельзя назвать период с 70-х по начало 90-х годов безрезультатным. За это время была создана научная основа технологий микробиологической анаэробной переработки биомассы. Было построено несколько опытных установок, одна из которых - в совхозе «Огре» Латвийской ССР (1982 г., 75 м<sup>3</sup>). Это были установки опытного характера, на которых отрабатывался процесс переработки биомассы<sup>19</sup>.

Крупнейшим центром по разработке конструкций отечественных биогазовых установок (а также прочих машин для переработки отходов аграрного производства) был Запорожский конструкторско-технологический институт сельскохозяйственного машиностроения (КТИСМ). Собранные учеными данные легли в основу создания нескольких лабораторных и опытных установок, однако до государственных приемочных испытаний была допущена только одна конструкция КТИСМ – КОБОС-1.

Установка КОБОС-1 была успешно испытана на базе опытной молочной фермы-лаборатории и одобрена для серийного выпуска на заводе в г. Шумихе Курганской области (Северный Урал). Она строилась по программе освоения технологии анаэробной переработки отходов как вариант серийных установок для животноводческих хозяйств средней величины – молочно-товарных ферм на 400 голов молочных коров или некрупных свиноводческих хозяйств на 4000 свиней.

Завод выпустил 10 комплектов оборудования, однако после распада СССР финансирование прекратилось. Из 10 выпущенных установок три были распределены на Украине и в Белоруссии, пять – были отправлены в Среднюю Азию (две из которых – в Кыргызстан), две – в Россию. Но внедрена была только 1 из них – на ферме крупного рогатого скота в Каменецком районе Брестской области Белоруссии.

Одна из попавших в Кыргызстан установок была переоборудована ОФ «Флюид» Ассоциации «Фермер» и установлена на базе свинокомплекса ОсОО «БЕКПР» на 4000 голов, в селе Лебединовка Чуйской области в 2003 году, другая используется в качестве водосборника в частном хозяйстве Ошской области.

В настоящее время в странах СНГ возрос интерес к получению энергии и биоудобрений путем переработки сельскохозяйственных отходов. Этому способствует высокая стоимость энергоресурсов и удобрений, а также ухудшающееся состояние окружающей среды. Однако из-за низкой информированности фермеров о практических путях внедрения биогазовых технологий, а также высокой начальной стоимости биогазовых установок, общее число биогазовых установок различных размеров в странах СНГ не превышает 300.

Особо можно отметить активную деятельность компании **Zorg Biogas** по проектированию, строительству биогазовых станций, поставке биогазового оборудования и его наладке с 2007 г. В послужном списке насчитывается 54 биогазовые станции эл. мощностью от 100 кВт до 20 МВт в 14 странах мира, включая СНГ.

Мощность более 50 установок построенных **ОФ «Флюид» Ассоциации «Фермер»** в 5 странах мира, включая Кыргызстан, Казахстан, Узбекистан, КНДР и Хорватию, уже позволяет производить более 70 000 тонн биоудобрений и более 2 миллионов кубометров биогаза в год.

В ходе работы над первой редакцией справочного руководства в 2006 году специалисты ОФ «Флюид» провели обследование более 100 биогазовых установок, построенных во всех областях Кыргызской Республики. Анализ результатов обследования показал, что для успешной работы



**Рис.12. Установка КХ «Сулайманов» в г. Джалал-Абад, Кыргызская Республика (объем реакторов 50 м<sup>3</sup>)**

*Фото: Веденева Т.А., ОФ «ЦРВИЭЭ»*

установок, в большинстве случаев, требуются серьезные конструктивные доработки, обеспечение доступа к сервисному обслуживанию, а также обучение фермеров правилам эксплуатации и соблюдению правил техники безопасности.

Со времени первого обследования, ОФ «Флюид» и Центр развития ВИЭ и энергоэффективности отслеживают развитие биогазовых технологий в Кыргызской Республике, где на данный момент было построено чуть более 100 установок, более 50% из которых – находятся в нерабочем состоянии, в основном из-за отсутствия необходимых знаний о технологиях как у потребителей, так и у многих «производителей», дискредитирующих биогазовые технологии, внедряя несовершенные и нерабочие конструктивные решения.

Анализ препятствий и проблем внедрения технологий анаэробного сбраживания в Кыргызской Республике, позволяет сделать следующие выводы:

- Главным препятствием развитию биогазовых установок в КР является отсутствие нормативных и политических предпосылок для их внедрения. Отсутствие механизмов финансового стимулирования строительства установок при низкой стоимости электроэнергии для населения и предприятий (на 2015 - 0,011 USD и 0,05 USD соответственно). Закон «О возобновляемых источниках энергии», принятый 31 декабря 2008 года №283 и поправки к нему, принятые в 2012 установили льготные тарифы, по которым распределительные компании обязаны закупать электроэнергию, производимую с применением ВИЭ. На начало 2015 года разработан проект Положения о механизме распределения затрат на закупку электроэнергии, производимой ВИЭ (см. Приложение 3), однако нет разработок о закупке газа, которые будут необходимы после начала газификации сельской местности КР, планируемой Газпромом.
- Отсутствие широко распространенных источников информации о биогазовых технологиях и недоверие фермеров к выгоды технологии анаэробного сбраживания навоза являются крупными препятствиями на пути широкомасштабного внедрения биогазовых технологий в Кыргызстане.
- Структурные проблемы животноводческого сектора, в частности - преобладание кочевого животноводства, и высокий воспринимаемый риск строительства биогазовой установки, связанный с крупным начальным вложением капитала и низкой осведомленностью о работе технологии, отсутствие опыта эксплуатации установок.
- Экологические аргументы в пользу внедрения биогазовых технологий слабо воспринимаются фермерами в силу отсутствия понимания важности глобальных экологических процессов. Отрицательное влияние экономики на человека или природу рассматривается как внешнее к экономическому процессу воздействие, а не как прямое и неизбежное его следствие [2].

Таким образом, в первую очередь, необходима государственная поддержка внедрения мелких и средних установок необходима в области обеспечения доступных кредитов и поддержке создания сервисных и учебных центров по биогазовым технологиям, разработке эффективной законодательной базы, и повышение осознанности фермеров Кыргызстана об экологических и экономических выгодах биогазовых технологий путем демонстрации действующих биогазовых установок и проведения образовательных и рекламных мероприятий.

Нужна доработка Государственной программы развития биогазовых технологий, уже разработанной и неоднократно обсуждавшийся с несколькими Правительствами КР, при тесном сотрудничестве всех заинтересованных сторон. В рамках программы необходимо обеспечить реализацию мер в области обеспечения доступных кредитов и поддержке создания сервисных и учебных центров по биогазовым технологиям, разработке эффективной законодательной базы, а также налаживании эффективной работы судебной и исполнительной систем власти.

Нужно также учитывать, что самым действенным методом стимуляции строительства и эффективной и постоянной эксплуатации биогазовых установок будет полностью определенный, ясный механизм продажи электричества и газа от ВИЭ по уже определенным в «Законе и ВИЭ» льготным тарифам, поэтому необходимо приложить максимальные усилия для доработки соответствующей нормативно-правовой базы и механизмов<sup>33</sup>.

## Часть 2 – Состав сырья и параметры его переработки

### Микробиология<sup>8</sup>

Получение биогаза и биоудобрений из органических отходов основано на свойстве отходов выделять биогаз при разложении в анаэробных, т.е. бескислородных условиях. Этот процесс называется метановое сбраживание и происходит в четыре этапа в результате разложения органических веществ двумя основными группами микроорганизмов – кислотными и метановыми.

#### Четыре этапа производства биогаза

Процесс производства биогаза может быть разделен на четыре стадии: гидролиз, окисление, ацетогенез и образование метана. В этом сложном комплексе превращений участвует множество микроорганизмов, главными из которых являются **метанобразующие бактерии**, три вида которых показаны на Рис. 13.

#### Гидролиз

На первом этапе, (гидролиз), органическое вещество ферментируется внешне внеклеточными ферментами (клетчатка, амилаза, протеаза и липаза) микроорганизмов. Бактерии разлагают длинные цепочки сложных углеводов, протеины и липиды – в более короткие цепочки.

#### Окисление / ферментация

Кислотопродуцирующие бактерии, которые принимают участие во втором этапе образования биогаза, расщепляют сложные органические соединения (клетчатку, белки, жиры и др.) в более простые. При этом в сбраживаемой среде появляются первичные продукты брожения — летучие жирные кислоты, низшие спирты, водород, окись углерода, уксусная и муравьиная кислоты и др. Эти органические вещества являются источником питания для метанобразующих бактерий, которые превращают органические кислоты в биогаз.

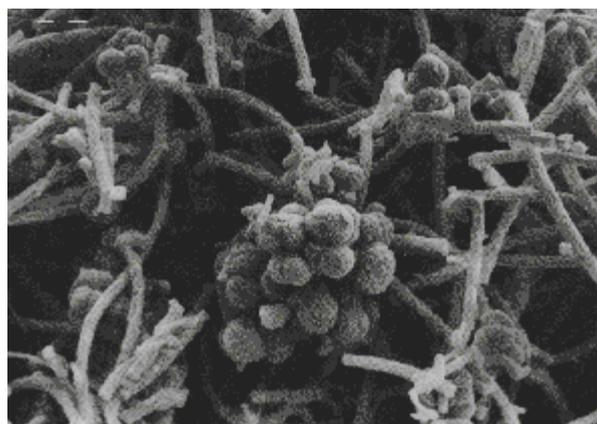
#### Ацетогенез

Продукты окисления не могут быть напрямую превращены в метан метанобразующими бактериями, и переходят в метаногенные вещества на стадии ацетогенеза. Летучие жирные кислоты (VFA) и алкоголь окисляются в ацетат (соль уксусной кислоты), водород, углекислый газ.

#### Образование метана

Метанопродуцирующие бактерии разлагают образования с низким молекулярным весом. Они утилизируют водород, углекислоту и уксусную кислоту. В естественных условиях, метанобразующие бактерии существуют при наличии анаэробных условий, например, под водой, в болотах. Они очень чувствительны к изменениям окружающей среды, поэтому от условий, которые создаются для жизнедеятельности метанообразующих бактерий, зависит интенсивность газовой выделению.

#### Симбиоз бактерий



**Рис.13. Три вида метановых бактерий**

Источник: AT Information: Biogas, GTZ project Information and Advisory Service on Appropriate Technology (ISAT), Eshborn, Deutschland, 1996



**Рис.14. Процесс производства биогаза**

Источник: Biodegradation in Animal Manure Management by Matthieu Girard, Joahnn H. Palacios, Martin Belzile, Stéphane Godbout and Frédéric Pelletier

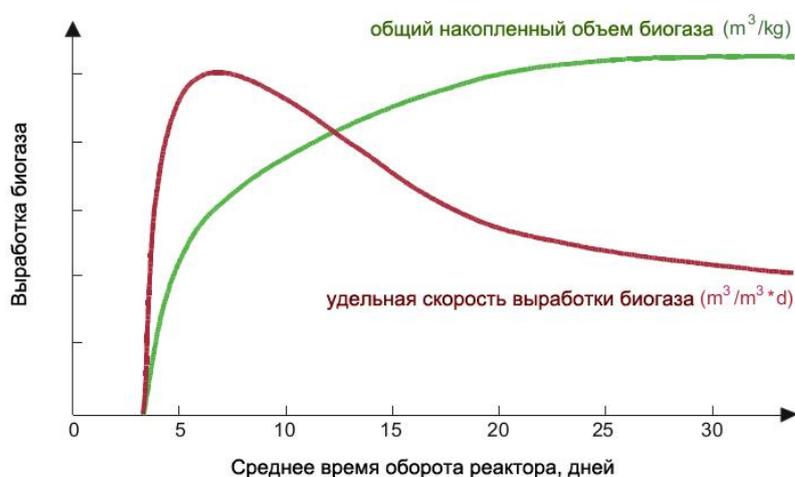
Метано- и кислотообразующие бактерии взаимодействуют в симбиозе, то есть стадии ацетогенеза и метанообразования часто проходят одновременно. С одной стороны, кислотообразующие бактерии создают атмосферу с идеальными параметрами для метанообразующих бактерий (анаэробные условия, химические структуры с низким молекулярным весом). С другой стороны, метанообразующие микроорганизмы используют промежуточные соединения кислото-производящих бактерий. Если бы не происходило этого взаимодействия, в реакторе развились бы неподходящие условия для деятельности обоих типов микроорганизмов.

## Параметры и оптимизация процесса сбраживания

Кислотообразующие и метанообразующие бактерии встречаются в природе повсеместно, в частности в экскрементах животных. Например, в пищеварительной системе крупного рогатого скота содержится полный набор микроорганизмов, необходимых для сбраживания навоза, а сам процесс метанового брожения начинается еще в кишечнике. Поэтому навоз КРС часто применяют в качестве сырья, загружаемого в новый реактор, где для оптимального процесса сбраживания достаточно обеспечить следующие условия:

- Поддержка анаэробных условий в реакторе;
- Соблюдение температурного режима;
- Доступность питательных веществ для бактерий;
- Выбор времени сбраживания;
- Своевременная загрузка и выгрузка сырья;
- Соблюдение кислотно-щелочного баланса;
- Соблюдение соотношения содержания углерода и азота;
- Выбор правильной влажности сырья;
- Регулярное перемешивание;
- Отсутствие ингибиторов процесса.

На каждый из различных типов бактерий, участвующих в трех стадиях метанообразования, эти параметры влияют по-разному. Существует также тесная взаимозависимость между параметрами (например, выбор времени сбраживания зависит от температурного режима), поэтому сложно определить точное влияние каждого фактора на количество образующегося биогаза.



**Рисунок 15. Зависимость производства биогаза от времени сбраживания.**

Источник: *Biogashandbuch Bayern - Materialband*. -Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg, Germany

## Поддержка анаэробных условий в реакторе

Жизнедеятельность метанообразующих бактерий возможна только при отсутствии кислорода в реакторе биогазовой установки, поэтому нужно следить за герметичностью реактора и отсутствием доступа в реактор кислорода.

## Соблюдение температурного режима

### Температурные рамки процесса сбраживания

Поддержка оптимальной температуры является одним из важнейших факторов процесса сбраживания. В природных условиях образование биогаза происходит при температурах от 0°C до 97°C<sup>19</sup>, но с учетом оптимизации процесса переработки органических отходов для получения биогаза и биоудобрений выделяют 3 температурных режима:

- Психофильный температурный режим определяется температурами до 20-25°C,
- Мезофильный температурный режим определяется температурами от 25°C до 40°C и
- Термофильный температурный режим определяется температурами свыше 40°C.

### **Минимальная средняя температура**

Степень бактериологического производства метана увеличивается с увеличением температуры. Но, так как количество свободного аммиака тоже увеличивается с ростом температуры, процесс сбраживания может замедлиться. В среднем, биогазовые установки без подогрева реактора демонстрируют удовлетворительную производительность только при среднегодовой температуре около 20°C или выше, или когда средняя дневная температура достигает по меньшей мере 18°C. При средних температурах в 20-28°C производство газа непропорционально увеличивается. Если же температура биомассы менее 15°C, выход газа будет так низок, что биогазовая установка без теплоизоляции и подогрева перестает быть экономически выгодной<sup>8</sup>.

### **Оптимальная температура сырья**

Сведения относительно оптимального температурного режима различны для разных видов сырья, но на основании эмпирических данных установок ОФ «Флюид», работающих в Кыргызстане на смешанном навозе КРС, свиней и птиц, оптимальной температурой для **мезофильного** температурного режима является **36 - 38°C**, а для **термофильного** **52 - 55°C**. Психофильный температурный режим соблюдается в установках без подогрева, в которых отсутствует контроль за температурой. Наиболее интенсивное выделение биогаза в психофильном режиме происходит при **23°C**.

### **Изменения температуры сырья<sup>46</sup>**

Процесс биометанации очень чувствителен к **изменениям** температуры. Степень этой чувствительности, в свою очередь, зависит от температурных рамок, в которых происходит переработка сырья. При процессе ферментации могут быть допустимы изменения температуры в пределах:

- Психофильный температурный режим:  $\pm 10^\circ\text{C}$ ;
- Мезофильный температурный режим:  $\pm 3\text{-}4^\circ\text{C}$ ;
- Термофильный температурный режим:  $\pm 0,5^\circ\text{C}$ .

### **Что лучше - термофильный или мезофильный режим?**

К преимуществам термофильного процесса сбраживания относятся: повышенная скорость разложения сырья и, следовательно, более высокий выход биогаза, а также практически полное уничтожение болезнетворных бактерий, содержащихся в сырье.

Недостатками термофильного разложения являются: большое количество энергии, требуемое на подогрев сырья в реакторе, чувствительность процесса сбраживания к минимальным изменениям температуры и несколько более низкое качество получаемых биоудобрений.

При мезофильном режиме сбраживания сохраняется высокий аминокислотный состав биоудобрений, но обеззараживание сырья не такое полное, как при термофильном режиме.

## **Питательные вещества**

Для роста и жизнедеятельности метановых бактерий необходимо наличие в сырье органических и минеральных питательных веществ. В дополнение к углероду и водороду, создание биоудобрений требует достаточного количества азота, серы, фосфора, калия, кальция и магния и некоторого количества микроэлементов - железа, марганца, молибдена, цинка, кобальта, селена, вольфрама, никеля и других. Обычное органическое сырье - навоз животных содержит достаточное количество вышеупомянутых элементов.

## **Время сбраживания**

Оптимальное время сбраживания зависит от дозы загрузки реактора и температуры процесса сбраживания. Если время сбраживания выбрано слишком коротким, при выгрузке сброженной биомассы бактерии из реактора вымываются быстрее, чем могут размножиться и процесс ферментации практически останавливается. Слишком продолжительное выдерживание сырья в реакторе не отвечает задачам получения наибольшего количества биогаза и биоудобрений за определенный промежуток времени.

### **Время оборота реактора**

При определении оптимальной продолжительности сбраживания пользуются термином «время оборота реактора». Время оборота реактора – это то время, в течение которого свежее сырье, загруженное в реактор, перерабатывается, и его выгружают из реактора.

Для систем с непрерывной загрузкой среднее время сбраживания определяется отношением объема реактора к ежедневному объему загружаемого сырья. На практике, время оборота реактора выбирают в зависимости от температуры сбраживания и состава сырья в следующих интервалах:

- Психофильный температурный режим: от 30 до 40 и более суток;
- Мезофильный температурный режим: от 10 до 20 суток;
- Термофильный температурный режим: от 5 до 10 суток.

### Суточная доза загрузки сырья

Суточная доза загрузки сырья определяется временем оборота реактора и увеличивается с увеличением температуры в реакторе. Если время оборота реактора составляет 10 суток, то суточная доля загрузки будет составлять 1/10 общего объема загружаемого сырья. Если время оборота реактора составляет 20 суток, то суточная доля загрузки будет составлять 1/20 общего объема загружаемого сырья. Для установок, работающих в **термофильном** режиме, доля загрузки может составить до 1/5 общего объема загрузки реактора.

### Время переработки сырья

Выбор времени сбраживания зависит также и от типа перерабатываемого сырья. Для следующих видов сырья, перерабатываемого в условиях **мезофильного** температурного режима, время, за которое выделяется наибольшая часть биогаза, равно примерно:

- Жидкий навоз КРС: 10 -15 дней
- Жидкий свиной навоз: 9 -12 дней
- Жидкий куриный помет: 10- 15 дней
- Навоз, смешанный с растительными отходами: 40-80 дней.

## Кислотно-щелочной баланс pH

Метано-производящие бактерии лучше всего приспособлены для существования в нейтральных или слегка щелочных условиях. В процессе метанового брожения, второй этап производства биогаза является фазой активного действия кислотных бактерий. В это время уровень **pH** снижается, то есть среда становится более кислой.

Однако, при нормальном ходе процесса жизнедеятельность разных групп бактерий в реакторе проходит одинаково эффективно и кислоты перерабатываются метановыми бактериями. Оптимальное значение **pH** колеблется в зависимости от сырья **от 6,5 до 8,5**<sup>19, 18</sup>.

Измерить уровень кислотно-щелочного баланса можно с помощью лакмусовой бумаги. Значения кислотно-щелочного баланса будут соответствовать цвету, приобретаемому бумагой при ее погружении в сбраживаемое сырье.

## Соотношение содержания углерода и азота

Одним из наиболее важных факторов, влияющих на метановое брожение, является соотношение углерода и азота в перерабатываемом сырье. Если соотношение **C/N** чрезмерно велико, то недостаток азота будет служить фактором, ограничивающим процесс метанового брожения. Если же это соотношение слишком мало, то образуется такое большое количество аммиака, что он становится токсичным для бактерий.

Микроорганизмы нуждаются как в азоте, так и в углероде для ассимиляции в их клеточную структуру. Различные эксперименты показали, выход биогаза наибольший при уровне соотношения углерода и азота **от 10 до 20**, где оптимум колеблется в зависимости от типа сырья. Для достижения высокой продукции биогаза, практикуется смешивание сырья для достижения оптимального соотношения **C/N**.

**Таблица 3. Содержание азота и отношение соотношение содержания углерода и азота для органических веществ**<sup>18,8</sup>

Биоферментируемый материал	Азот N [%]	Соотношение углерода и азота C/N
<b>А. Навоз животных</b>		
КРС	1,7 - 1,8	16,6 - 25
Куриный	3,7 – 6,3	7,3 - 9.65
Конский	2,3	25
Свиной	3,8	6,2 – 12,5
Овечий	3,8	33
<b>Б. Отходы хозяйства</b>		
Фекалии	6 - 7.1	6 - 10
Кухонные отходы	1.9	28.60
Шкурки картофеля	1.5	25
Капуста	3.6	12.5

Помидоры	3.3	12.5
<b>С. Растительные сухие отходы</b>		
Кукурузные початки	1.2	56.6
Солома зерновых	1.0	49.9
Пшеничная солома	0.5	100 - 150
Кукурузная солома	0.8	50
Овсяная солома	1.1	50
Соя	1.3	33
Люцерна	2.8	16,6 - 17
Свекольный жом	0,3 – 0,4	140 - 150
<b>Д. Другое</b>		
Трава	4	12
Опилки	0.1	200-500
Опавшая листва	1.0	50

## Выбор правильной влажности сырья

Беспрепятственный обмен веществ в сырье является предпосылкой для высокой активности бактерий. Это возможно только в том случае, когда вязкость сырья допускает свободное движение бактерий и газовых пузырьков между жидкостью и содержащимися в ней твердыми веществами. В отходах сельскохозяйственного производства имеются разные твердые частицы.

### Твердые и сухие вещества в сырье

Твердые частицы, например: песок, глина и др., обуславливают образование осадка. Более легкие материалы поднимаются на поверхность сырья и образуют корку на его поверхности. Это приводит к уменьшению газообразования. Поэтому рекомендуется тщательно измельчать перед загрузкой в реактор растительные остатки: солому, объедки и др., и стремится к отсутствию твердых веществ в сырье.

Содержание сухих веществ определяются влажностью навоза. При влажности 70%, в сырье содержится 30% сухих веществ. Примерные значения влажности навоза и экскрементов (навоз и моча) для различных видов животных, приводятся в таблице 4.

**Таблица 4. Количество и влажность навоза и экскрементов на 1 животное**

46

Виды животных	Среднесуточное количество навоза, кг/сутки	Влажность навоза, [%]	Среднесуточное количество экскрементов, кг/сутки	Влажность экскрементов, [%]
КРС молочный	30	65	50	86
Свиньи	4	65	5,1	86
Птица	0,16	75	0,16	75

Влажность сырья, загружаемого в реактор установки, должна быть не менее 85% в зимнее время и 92% в летнее время года. Для достижения правильной влажности сырья навоз обычно разбавляют горячей водой в количестве, определяемом по формуле:  $ОВ = Н \times (В2 - В1) : (100 - В2)$ , где Н – количество загружаемого навоза, В1 – первоначальная влажность навоза, В2 – необходимая влажность сырья, ОВ – количество воды в литрах. В таблице приводятся необходимое количество воды для разбавления 100 кг навоза до 85% и 92% влажности.

**Таблица 5. Количество воды для достижения необходимой влажности на 100 кг навоза**

21

Необходимая влажность	Первоначальная влажность сырья						
	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%
85%	166 литров	133 литра	100 литров	67 литров	33,5 литра	-	-
92%	400 литров	337 литров	275 литров	213 литров	150 литров	87,5 литра	25 литров

## Регулярное перемешивание

Для эффективной работы биогазовой установки и поддержания стабильности процесса сбраживания сырья внутри реактора, необходимо периодическое перемешивание. Главными целями перемешивания являются:

- высвобождение произведенного биогаза;
- перемешивание свежего субстрата и популяции бактерий (прививка);
- предотвращение формирования корки и осадка;
- предотвращение участков разной температуры внутри реактора;
- обеспечение равномерного распределения популяции бактерий;
- предотвращение формирования пустот и скоплений, уменьшающих эффективную площадь реактора.

При выборе подходящего способа и метода перемешивания, нужно учитывать, что процесс сбраживания представляет собой симбиоз между различными штаммами бактерий, то есть бактерии одного вида могут питать другой вид. Когда сообщество разбивается, процесс ферментации будет непродуктивным до того, как образуется новое сообщество бактерий. Поэтому, слишком частое или продолжительное и интенсивное перемешивание вредно. Рекомендуется медленно перемешивать сырье через **каждые 4 – 6 часов**.

## Ингибиторы процесса

Сбраживаемая органическая масса не должна содержать веществ (антибиотики, растворители и т. п.), отрицательно влияющих на жизнедеятельность микроорганизмов. Не способствуют «работе» микроорганизмов и некоторые неорганические вещества, поэтому нельзя, например, использовать для разбавления навоза воду, оставшуюся после стирки белья синтетическими моющими средствами.

Даже если на деле токсичные материалы не используются для производства биогаза, слишком высокая концентрация полезных или, по крайней мере, поваренной нетоксичной соли может задерживать рост бактерий и, следовательно, выработку биогаза. Верхний предел некоторых наиболее распространенных неорганических веществ приведен в Таблице 6.

**Таблица 6. Ограничения по задержке для распространенных неорганических ингибиторов**

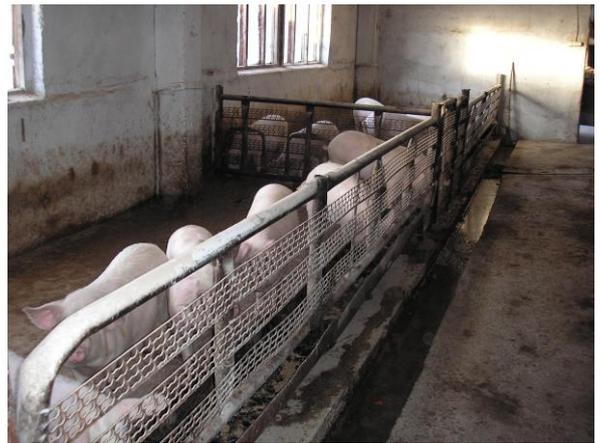
<b>Вещества, задерживающие рост бактерий либо токсичные для бактерий</b>	<b>Задерживают рост бактерий в концентрациях выше</b>
Кальций (Ca <sup>2+</sup> )	2500-4500 мг/л
Хром (Cr <sup>3+</sup> )	200 мг/л I
Медь (Cu <sup>2+</sup> )	100 мг/л
Магний (Mg <sup>2+</sup> )	1000-1500 мг/л I
Марганец (Mn <sup>2+</sup> )	1500 мг/л
Никель (Ni <sup>3+</sup> )	200-500 мг/л
Нитрат (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , рассчитанный как N)	0.05 мг/л
Калий (K <sup>+</sup> )	2500-4500 мг/л
Натрий (Na <sup>+</sup> )	3500-5000 мг/л
Хлорид натрия (NaCl, поваренная соль)	40,000 промилле (в весовом отношении)
Сульфат (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	5,000 промилле (в весовом отношении)

## Типы сырья

### Навоз КРС

Навоз КРС наиболее подходящее сырье для переработки в биогазовых установках, так как метанопродуцирующие бактерии уже содержатся в желудке КРС. Однородность навоза КРС позволяет рекомендовать его для использования в установках непрерывного сбраживания.

Обычно свежий навоз смешивают с водой и выбирают из него непереваренную солому для предотвращения осадка и корки. Моча КРС значительно увеличивает количество вырабатываемого биогаза, поэтому рекомендуется строить фермы с бетонным полом и прямым гидросливом экскрементов в емкость для смешивания сырья.



**Рис.16. Содержание свиней на ферме с бетонным полом**

Фото: Веденев А.Г., ОП «Флюид»

### Свиной навоз

При содержании свиней в загонах и стойлах без вымощенного покрытия, можно использовать лишь навоз. Он должен быть разбавлен водой для достижения правильной консистенции для переработки. Это может привести к большим количествам песка и мелких камешков в реакторе, если не оставить разбавленное сырье в емкости для смешивания для того, чтобы песок осел. Попадающий в реактор песок и земля скапливается на дне реактора и должен периодически вычищаться. Также как и в случае с навозом КРС, рекомендуется строить фермы с бетонным полом и прямым сливом экскрементов в емкость для смешивания сырья.

### Овечий и козий навоз

Для овец и коз, содержащихся без вымощенного покрытия, ситуация является схожей с описанной для свиного навоза. Так как козья ферма является практически единственным местом для сбора достаточного количества навоза, да и тогда только при условии соломенной подстилки, сырье для биогазовой установки в основном представляет собой смесь навоза и соломы. Большинство систем, перерабатывающих такое сырье работают в режиме порционной загрузки, при котором смесь навоза, соломы и воды загружается без предварительной подготовки и остаются в реакторе на более продолжительный срок, чем чистый навоз.

### Куриный помет

Для переработки куриного помета рекомендуется клеточное содержание птиц или установку насеста над подходящей для сбора помета площадью ограниченного размера. В случае напольного содержания птиц доля песка, опилок, соломы в помете будет слишком высока. Нужно учитывать возможные проблемы и проводить чистку реактора чаще, чем при работе с другими видами сырья.

Куриный помет хорошо сочетается с навозом КРС и может перерабатываться вместе с ним. При использовании чистого птичьего помета в качестве сырья существует опасность высокой концентрации аммиака.

### Фекалии

Если фекалии перерабатываются в биогазовых установках, туалеты должны быть устроены так, что фекалии смываются малым количеством воды. Нужно убедиться, что в туалет не попадает вода из других источников, а количество смывающей воды должно быть ограничено 0.5 - 1 литром воды для предотвращения чрезмерного разбавления сырья<sup>8</sup>.

## Выход газа и содержание метана

Выход газа обычно подсчитывается в литрах или кубических метрах на килограмм сухого вещества, содержащегося в навозе. В таблице показаны значения выхода биогаза на килограмм сухого вещества для разных видов сырья после 10-20 дней ферментации при мезофильной температуре.

Для определения выхода биогаза из свежего сырья с помощью таблицы, сначала нужно определить влажность свежего сырья. Для этого можно высушить килограмм свежего навоза и взвесить сухой остаток. Влажность навоза в процентах можно подсчитать по формуле: **(1 – вес высушенного навоза)×100%**.

**Таблица 7. Выход биогаза и содержание в нем метана при использовании разных типов сырья<sup>18,8</sup>**

Тип сырья	Выход газа (м <sup>3</sup> на килограмм сухого вещества)	Содержание метана (%)
<b>А. Навоз животных</b>		
Навоз КРС	0,250 - 0,340	65
Свиной навоз	0,340 - 0,580	65-70
Птичий помет	0,310 - 0,620	60
Конский навоз	0,200 - 0,300	56-60
Овечий навоз	0,300 - 0,620	70
<b>Б. Отходы хозяйства</b>		
Сточные воды, фекалии	0,310 - 0,740	70
Овощные отходы	0,330 - 0,500	50-70
Картофельная ботва	0,280 - 0,490	60-75
Свекольная ботва	0,400-0,500	85
<b>С. Растительные сухие отходы</b>		
Пшеничная солома	0,200-0,300	50-60
Солома ржи	0,200-0,300	59
Ячменная солома	0,250-0,300	59
Овсяная солома	0,290-0,310	59
Кукурузная солома	0,380-0,460	59
Лен	0,360	59
Конопля	0,360	59
Свекольный жом	0,165	
Листья подсолнечника	0,300	59
Клевер	0,430-0,490	
<b>Д. Другое</b>		
Трава	0,280-0,630	70
Листва деревьев	0,210-0,290	58

Подсчитать, какое количество свежего навоза с определенной влажностью будет соответствовать 1 кг сухого вещества, можно следующим образом: от 100 отнимаем значение влажности навоза в процентах, а затем делим 100 на это значение: **100: (100% - влажность в %)**.

**Пример 1:** если вы определили, что влажность используемого в качестве сырья навоза КРС равна 85%, то 1 килограмм сухого вещества будет соответствовать  $100:(100 - 85) =$  около 6,6 килограмм свежего навоза. Значит, с 6,6 килограммов свежего навоза мы получаем 0,250 – 0,320 м<sup>3</sup> биогаза, а с 1 килограмма свежего навоза КРС можно получить в 6,6 раз меньше: 0,037 – 0,048 м<sup>3</sup> биогаза.

**Пример 2:** Вы определили влажность свиного навоза - 80%, значит 1 килограмм сухого вещества будет равен 5 килограммам свежего свиного навоза. Из таблицы мы знаем, что 1 килограмм сухого вещества (или 5 кг свежего свиного навоза) выделяет 0,340 - 0,580 м<sup>3</sup> биогаза. Значит, 1 килограмм свежего свиного навоза выделяет 0,068 – 0,116 м<sup>3</sup>, а одна тонна – 68 -116 м<sup>3</sup> биогаза. В условиях Кыргызской Республики удавалось добиться 50-70 м<sup>3</sup> с 1 тонны свиного навоза влажностью 85% - 92%.

#### **Примерные значения**

Если известен вес суточного свежего навоза, то нужно подсчитать, какое количества готового сырья влажностью 85% - 92% получится из него при добавлении нужного количества воды – обычно добавляют равное количество воды. Суточный выход биогаза в условиях Кыргызстана с таким сырьем будет примерно следующим:

- 1 тонна сырья из навоза КРС 25-30 м<sup>3</sup> биогаза;
- 1 тонна сырья из свиного навоза 50 - 70 м<sup>3</sup> биогаза;
- 1 тонна сырья из птичьего помета 50 - 60 м<sup>3</sup> биогаза.

#### **Вес биогаза**

Объемный вес биогаза составляет 1,2 кг на 1 м<sup>3</sup>, поэтому при подсчете количества получаемых удобрений необходимо вычитать его из количества перерабатываемого сырья<sup>8</sup>.

Для среднесуточной загрузки 50 кг сырья на голову крупного молочного рогатого скота и дневном выходе биогаза 1,5 м<sup>3</sup> на голову скота, масса сырья уменьшится на 3,6% в процессе переработки в биогазовой установке. В общем, можно считать, что вес переработанного в биогазовой установке сырья уменьшается на 4-5% за счет отбора биогаза.

## Проблема корки

Если наблюдается высокий объем газа, но он недостаточно горючий, это часто означает, что на поверхности сырья в реакторе образовалась пена или корка. Если давление газа совсем низкое, это тоже может означать, что образовалась корка, блокирующая газовую трубу. Необходимо удалять корку с поверхности сырья в реакторе.

### Удаление корки

Особенностью корки, которая образуется на поверхности сырья в реакторе биогазовой установки является то, что она не ломкая, но тягучая и может стать очень твердой в течение короткого периода времени. Для ее разрушения нужно поддерживать ее в увлажненном состоянии. То есть, корку можно полить сверху водой или опустить в сырье.

### Сортировка сырья

Солома, трава, стебли травы и даже просто подсохший навоз всплывают на поверхность сырья, а сухие и минеральные вещества оседают на дне реактора и со временем могут закрыть выгрузочное отверстие или уменьшить рабочую площадь реактора. При правильно подготовленном сырье с не слишком высоким содержанием воды такой проблемы не возникает.

### Готовое сырье

При использовании свежего навоза КРС не возникает проблемы корки. Проблемы возникают в случае, когда в сырье присутствуют твердые и не разложившиеся органические вещества. Перед строительством установки необходимо проверить корм животных и навоз на возможность переработки в реакторе. Может оказаться необходимым тщательное измельчение корма и, в таком случае, лучше заранее рассчитать дополнительные затраты. Проблема содержания твердых частиц в сырье намного серьезнее для свиного навоза и птичьего помета. Песок, склеиваемый курами и попадание перьев в помет делают птичий помет трудным сырьем.

## Состав сырья

Исследования химического состава сырья до переработки в биогазовых установках проводились учеными зарубежных стран и Кыргызстана.

**Таблица 8. Состав сырья до переработки в биогазовой установке<sup>17</sup>**

Сырье	Влажность, %	Сухое вещество, %	Гуминовые кислоты на сухое вещество, %	Фульво-кислоты, %	Уровень pH
Навоз	96-98	4 - 2	14.8	1.6	6.5
Навоз и растительные отходы	96-98	4 - 2	28.3	3.7	7.5
Растительные отходы	96-98	4 - 2	33.5	4.0	7.3

### Вязкость

Вязкость сырья в процессе переработки заметно уменьшается, так как количество твердого вещества уменьшается путем сбраживания на 50% в стабильных условиях.

### Запах

Биоудобрению присущ намного менее интенсивный запах, чем запах используемого сырья (навоз, моча). При наличии достаточного времени сбраживания, пахучие субстанции почти полностью перерабатываются.

### Питательные вещества

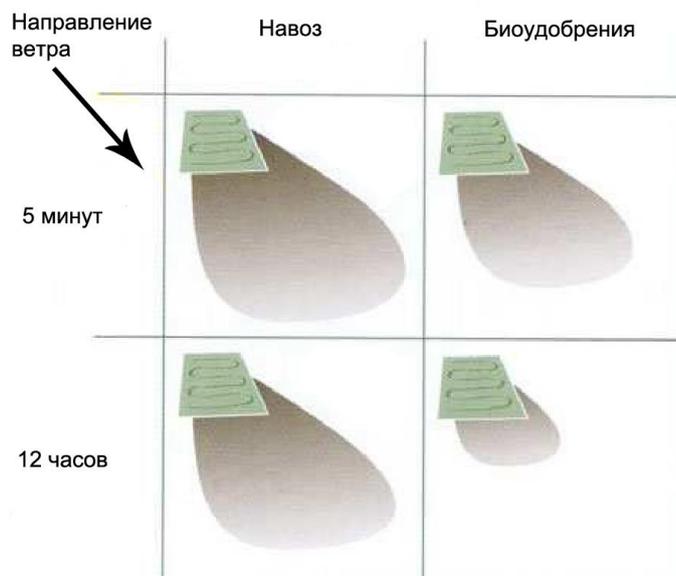
Питательные свойства биоудобрения определяются количеством органических веществ и химических элементов, которые оно содержит. Все питательные для растений вещества, такие как азот, фосфор, калий и магний, а так же микроэлементы и витамины, необходимые для роста растений сохраняются в биоудобрении. Соотношение углерода и азота (около 1:15) имеет благоприятный эффект на качество почв. В таблице 8 приводится примерное содержание питательных веществ в биоудобрении.

### Фосфат и калий

Содержание фосфата (форма фосфора, напрямую усваиваемая растениями) не изменяется в процессе ферментации сырья. В этой форме растениями может быть усвоено около 50% общего содержания фосфора. Ферментация не влияет на содержание калия, от 75 до 100% которого может быть усвоено растениями.

### Азот

В отличие от фосфата и калия, некоторое количество азота изменяется в процессе ферментации. Около 75% азота, содержащегося в свежем навозе, становится частью органических макромолекул, остальные 25% представлены в минеральной форме. После переработки в биогазовой установке, около 50% азота в биоудобрении находится в органической форме, и 50% - в минеральной. Минеральный азот может быть напрямую усвоен растениями, а органический азот должен сначала минерализоваться с помощью почвенных микроорганизмов.



**Рисунок 17. Территория присутствия и стойкость запаха навоза и биоудобрений.**

Источник: Birkmose, T. (2002). *Centralised Biogas Plants. Landscentret, Planteavl.*

**Таблица 8. Содержание элементов в биоудобрении (грамм на кг сухого вещества)<sup>17</sup>**

Сырье	Фосфат $P_2O_5$	Калий $K_2O$	Кальций $CaO$	Магний $MgO$	Азот $Na_2O$
Навоз	3.05	5.64	3.25	0.98	1.75
Навоз и растительные отходы	6.37	7.98	5.15	1.95	3.37
Растительные отходы	6.66	8.88	5.18	2.22	3.70

## Часть 3 – Биогазовые установки

### Распространенные типы биогазовых установок

Распространенные в мире типы биогазовых установок классифицируются по размерам и расположению реактора, методу загрузки сырья, методам сбора биогаза, по используемым для их сооружения материалам, использованию дополнительных устройств.

В зависимости от их **относительного размера**, функции и расположения, сельскохозяйственные биогазовые установки классифицируются как:

- Семейные установки (с объемами реакторов до 15 м<sup>3</sup>);
- Фермерские установки (с объемами реакторов до 250 м<sup>3</sup>);
- Промышленные установки (с объемами реакторов от 250 м<sup>3</sup>);



**Рис.18. Баллонная установка в Шри-Ланке**

Источник: SNV Reference Guide on Climate Change and Rural Energy, 2004

#### Семейные биогазовые установки

В таких странах как Непал, Индия и Китай, работают миллионы маленьких семейных установок, использующих очень простые технологии переработки сырья. В качестве сырья в таких установках используются отходы приусадебного хозяйства и дома, производимый биогаз – для приготовления пищи и освещения дома, а биоудобрения – для огорода.

Такие установки дешевы и могут быть построены из местных материалов, но не оснащены контрольными приборами и поэтому могут использоваться в теплом климате при подходящих внешних температурах.

Установки **китайского типа** (рисунок 19) состоят из подземного реактора объемом 6-8 м<sup>3</sup> и перерабатывают навоз, фекалии и кухонные отходы хозяйства. Используется метод полу-непрерывной или порционной загрузки, сырье в реакторе не перемешивается, и 2-3 раза в год реактор чистят от осаждающихся на дно твердых частиц.

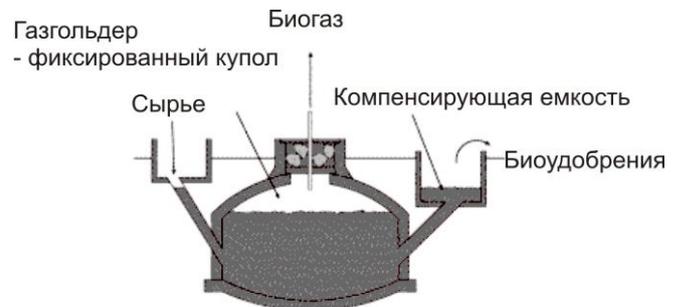
**Индийские установки** (рисунок 22) очень схожи с китайскими и состоят из простого подземного реактора для домашних отходов или отходов маленького крестьянского хозяйства. Различие от китайского типа установки состоит в том, что реактор оснащен плавающим куполом для сбора биогаза, который позволяет регулировать его давление.

#### Методы загрузки

По методу загрузки сырья можно различить два разных типа биогазовых установок:

**Установки порционной загрузки** полностью загружаются сырьем, а затем полностью освобождаются после определенного времени переработки. Для такого типа загрузки подходят установки любой конструкции и любой тип сырья, но такие установки отличаются нестабильным производством биогаза.

**Установки непрерывной загрузки** ежедневно загружаются маленькими порциями сырья. При загрузке нового сырья, равная порция переработанного шлама выгружается. Сырье,



**Рис.19. Китайский тип установки с фиксированным куполом**

Источник: AT Information: Biogas, GTZ project Information and Advisory Service on Appropriate Technology (ISAT), Eshborn, Deutschland, 1996



**Рис.20. Установка канального типа**

Источник: «Biomass Energy Systems», ACRE, the Australian CRS for Renewable Energy Ltd, <http://wwwphys.murdoch.edu.au/acre/>.

перерабатываемое в таких установках, должно быть жидким и однородным. Производство газа стабильно и количественно превышает объем вырабатываемого на порционных установках биогаза. Практически все стоящие сейчас в развитых странах установки работают как установки непрерывной загрузки.

### Методы сбора биогаза

Внешний вид биогазовых установок зависит от выбранного метода сбора биогаза.

**Баллонные установки** представляют собой термостойкий пластиковый или резиновый мешок (баллон), в котором совмещены реактор и газгольдер. Трубы для загрузки и выгрузки сырья крепятся прямо к пластику реактора. Давление газа достигается за счет растяжимости мешка и за счет дополнительного груза, который ложится на мешок. **Преимущества** такой установки – низкая стоимость, легкость перемещения, простота конструкции, высокая для психрофильного режима температура брожения, простота очистки реактора, загрузки и выгрузки сырья. **Недостатки** такой установки – короткий период эксплуатации (2-5 лет), высокая восприимчивость к внешним воздействиям, малая возможность создания дополнительных рабочих мест<sup>8</sup>.

Вариантом баллонных установок являются **установки канального типа**, которые обычно закрываются пластиком и предохраняются от прямого попадания солнечных лучей. Такие установки часто используются в развитых странах, особенно при переработке сточных вод. Установки с мягким верхом могут быть рекомендованы к использованию тогда, когда существует малая вероятность повреждения резиновой оболочки реактора и когда температура окружающей среды достаточно высокая.

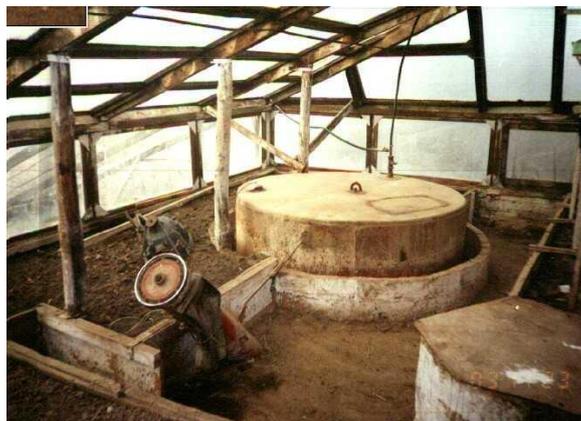
**Установки с фиксированным куполом** состоят из закрытого, куполообразного реактора и выгрузочной емкости, также известной как компенсирующая емкость. Газ собирается в верхней части реактора - куполе. Когда загружается очередная порция сырья, переработанное сырье выталкивается в компенсирующую емкость. С увеличением давления газа, повышается уровень переработанного сырья в компенсирующей емкости.

Китайские установки с фиксированным куполом (см. Рис. 19) являются архетипом всех подобных установок. Более 40 миллионов таких установок было построено и работает в Китае<sup>24</sup>.

Использование газа в бытовых приборах осложняется переменах в давлении газа. Горелки и другие бытовые приборы практически невозможно настроить для оптимальной работы. Если необходимо постоянное давление газа, рекомендуется поставить регулятор давления в реакторе или выбрать другую конструкцию установки<sup>8</sup>.

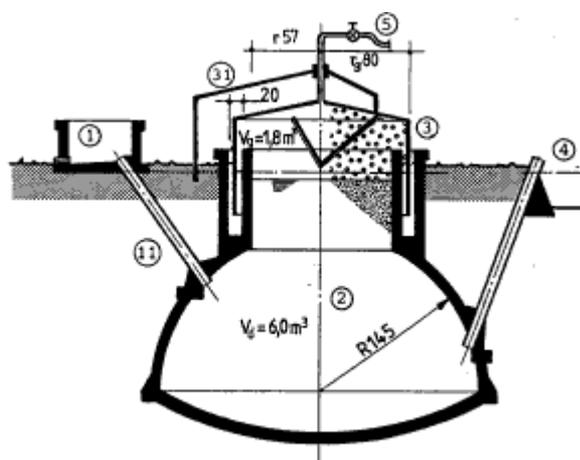
**Реакторы** установок с фиксированным куполом обычно представляют собой кирпичные или бетонные емкости. Такие установки покрываются землей до вершины, наполненной газом для сдерживания внутреннего давления (до 0,15 бар). По экономическим причинам минимальный рекомендуемый размер реактора 5 м<sup>3</sup>. Известны такие установки с объемами реакторов до 200 м<sup>3</sup>.

**Газгольдером** является верхняя часть установки с фиксированным куполом (место, где собирается газ), которая должна быть герметична. Кирпичная кладка и бетон не герметичны, поэтому эта часть установки должна покрываться слоем вещества не пропускающим газ (латекс, синтетические краски). Возможностью уменьшить риск трещин в газгольдере является строительство слабого кольца в кладке реактора. Такое кольцо является эластичным соединением между нижней (водонепроницаемой) и верхней (газонепроницаемой) частью полусферической структуры установки.



**Рис.21. Установка с плавающим куполом в с.Садовое Литинского района, Винницкой области, Украина**

Источник: СФГ «ТЕРРА» <http://www.is.svitonline.com/terra/>



**Рис.22. Индийский стандарт на сооружение установки с плавающим куполом**

Источник: AT Information: Biogas, GTZ project Information and Advisory Service on Appropriate Technology (ISAT), Eshborn, Deutschland, 1996

Оно предотвращает продвижение трещин, появляющихся из-за гидростатического давления в нижних частях реактора в верхнюю часть газгольдера.

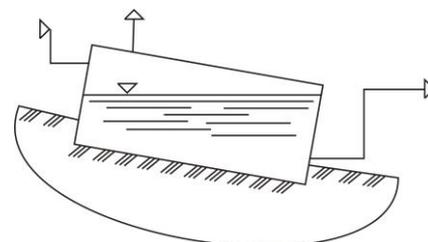
**Установки с плавающим куполом** состоят обычно из подземного реактора и подвижного газгольдера. Газгольдер плавает или прямо в сырье или в специальном водяном кармане. Газ накапливается в газгольдере, который поднимается или опускается в зависимости от давления газа. Газгольдер поддерживается специальной рамкой от опрокидывания. Если газгольдер плавает в специальном водяном кармане, он предохранен от опрокидывания.

**Преимуществами** этой конструкции являются легкость ежедневных операций, легкость определения объема газа по высоте, на которую поднялся газгольдер. Давление газа является постоянным, и определяется весом газгольдера. Строительство установки с плавающим куполом нетрудное, и ошибки в конструкции обычно не ведут к большим проблемам в получении газа.

**Недостатками** такой конструкции являются высокая стоимость стального реактора и высокая чувствительность железа к коррозии. Поэтому, установки с плавающим куполом имеют меньший срок службы, чем установки с фиксированным верхом<sup>8</sup>.

В прошлом, установки с плавающим куполом строились в основном в Индии. Такие установки состоят из цилиндрического или куполообразного кирпичного или бетонного **реактора** и плавающего газгольдера.

**Газгольдер** плавает в специальном водяном кармане или прямо в сырье и имеет внутреннюю или внешнюю раму, которая обеспечивает стабильность и сохраняет газгольдер в вертикальном положении. При выработке биогаза, газгольдер всплывает выше, при использовании газа, он опускается. Такие установки используются, в основном, для переработки навоза, органических отходов и фекалий в режиме постоянной, т.е. ежесуточной загрузки. Чаще всего они строятся на фермах среднего размера (реактор: 5-15 м<sup>3</sup>) или в больших агро-индустриальных комплексах (реактор: 20-100 м<sup>3</sup>).



**Рис.23. Биогазовая установка, расположенная на склоне**

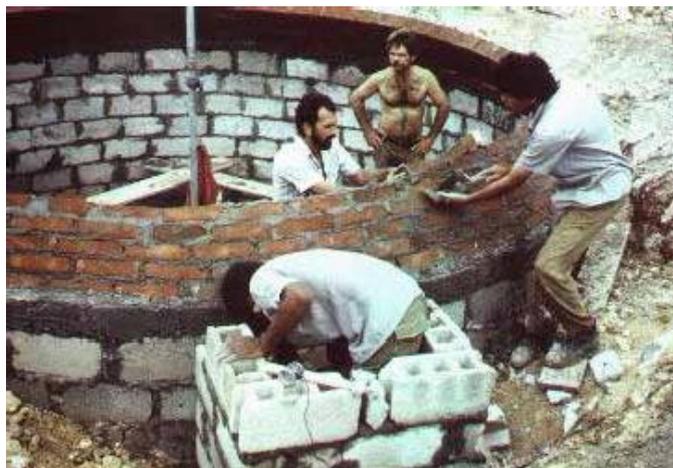
### **Горизонтальные и вертикальные установки**

Выбор расположения реактора установки зависит от метода загрузки и наличия свободной территории в хозяйстве. **Горизонтальные** установки выбирают для непрерывного метода загрузки сырья и при наличии достаточного места. **Вертикальные** установки больше подходят для порционной загрузки сырья и используются при необходимости для уменьшения места, занимаемого реактором.

### **Подземные и наземные установки**

При выборе расположения установки нужно учитывать топографию и пользоваться ею для оптимизации работы установки. Например, очень удобно располагать установку на склоне, чтобы загрузочное отверстие находилось достаточно низко, сырье в реакторе перемещалось за счет легкого наклона к выгрузочному отверстию, которое находилось бы на небольшой высоте для удобства загрузки в транспортные средства.

Еще один фактор, который нужно учитывать при выборе установки, это улучшенная теплоизоляция подземных установок, включающая слабое влияние суточных изменений температуры на процесс сбраживания сырья, так как температура почвы на глубине более 1 метра практически не изменяется<sup>8</sup>.



**Рис.24. Сооружение кирпичного реактора на Кубе**

Источник: В. Некрасов «Микробиологическая анаэробная конверсия биомассы», неопубл., 2002

### **Металлические, бетонные и кирпичные реакторы<sup>19,8</sup>**

Установки можно различать по материалам, из которых изготавливается реактор. **Бетонные реакторы** обычно сооружаются под землей. Бетонный реактор имеет цилиндрическую форму, и небольшие установки (до 6 м<sup>3</sup>) могут изготавливаться на конвейерной основе. Необходимы специальные меры для герметизации реактора. **Преимущества:** Низкие затраты на сооружение и материалы, возможность массового производства. **Недостатки:** Большой объем потребления хорошего качественного бетона, необходимость квалифицированных строителей и большого количества проволочной сетки, относительная новизна конструкции, необходимость специальных мер для обеспечения герметичности газгольдера.

**Кирпичные реакторы** сооружаются для подземных установок с фиксированным или плавающим газгольдером и имеют округлую форму. **Преимущества:** Низкие начальные капиталовложения и долгий срок эксплуатации, нет движущихся или ржавеющих частей, конструкция компактна, экономит место и хорошо изолирована, строительство создает местную занятость. Подземное расположение позволяет снизить площадь, занимаемую установкой и предохраняет реактор от резких изменений температуры. **Недостатки:** Кирпичный газгольдер требует специальных покрытий для обеспечения герметичности и высокого мастерства, часто случаются утечки газа, работа установки плохо контролируется из-за подземного расположения, установка требует тщательного расчета уровней постройки, подогрев сырья в реакторе очень сложен и дорог в осуществлении. Таким образом, кирпичные установки могут быть рекомендованы к применению только в теплых странах при наличии квалифицированного персонала.

**Металлические реакторы** подходят для любых типов установок, герметичны, выдерживают большое давление и просты в изготовлении. Часто можно использовать уже имеющиеся емкости. Но, металл относительно дорогой и требует ухода для предотвращения ржавчины. Как правило, необходимо наносить на металл антикоррозионное покрытие и регулярно проверять его целостность. Стальные емкости обычно выгодны при использовании бывших в употреблении емкостей.

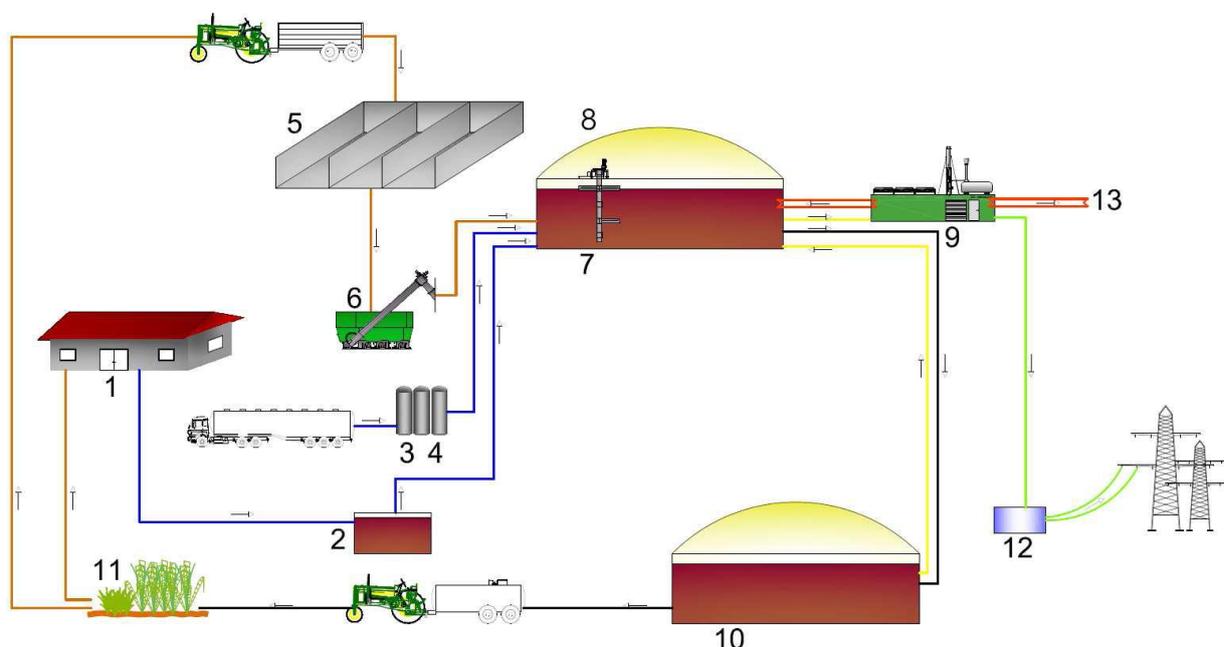
### Фермерские биогазовые установки

Фермерские установки перерабатывают навоз, производимый на ферме, а также очень часто перерабатывают дополнительно небольшие количества других отходов – чаще растительных, для увеличения выхода биогаза. Часто такие установки собирают навоз с 2-3 ферм, расположенных недалеко от фермы, где построена установка.

Можно выделить следующие 4 стадии процесса эксплуатации фермерской когенерационной установки (рисунок 25):

- Первая стадия процесса (хранение, подготовка, транспортировка и загрузка сырья) осуществляется с помощью навозоприемников (2), баки для хранения (3), санационный бак (4), въездные приемники (5) система загрузки сухого сырья (6).
- Вторая стадия состоит в производстве биогаза в реакторе (7),
- Третья стадия представлена хранилищем для переработанного сырья (10) и использование биоудобрений на полях (11).
- Четвертая стадия процесса относится к сбору, очистке и использованию биогаза и представлена газгольдером (8) и когенерационной установкой (9).

Все четыре стадии тесно связаны между собой, например, тепло, образующееся на стадии 4



- 1- стойла, 2 – приемники жидкого навоза, 3 – баки для сбора био-отходов для совместной переработки, 4 – санационный бак, 5- въездные приёмники отходов, 6 – система загрузки сухого сырья, 7 - реактор, 8 - газгольдер, 9 – ко-генерационная установка, 10 – хранилище биоудобрений, 11- поля, 12 – трансформатор для подачи электричества в сеть, 13 – использование тепла.

**Рисунок 25. Когенерационная фермерская установка для переработки навоза и маиса.**

Источник: *Biogas handbook, Teodorita Al Seadi, et.al., University of Southern Denmar, 2008.*

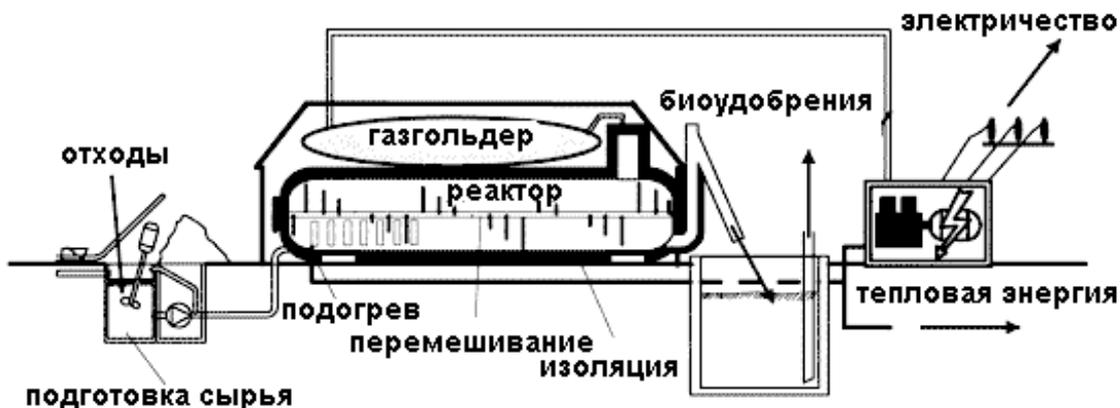
используется на стадии 2 для подогрева реактора.

Фермерские установки бывают разного размера, дизайна и используют различные виды технологических процессов. Некоторые из них маленькие и простые, а другие – очень похожи на большие установки централизованной переработки.

### Дополнительные устройства

В качестве примера использования дополнительных устройств можно рассмотреть типичную для развитых стран конструкцию биогазовой установки.

**Емкость для смешивания сырья** может быть разных размеров и форм, в зависимости от сырья. Обычно емкость содержит пропеллеры для смешивания или измельчения сырья и насос для загрузки сырья в реактор. Иногда, устанавливаются устройства для предварительного подогрева



**Рис.26. Типичная для развитых стран биогазовая установка с мягким газгольдером**

Источник: AT Information: Biogas, GTZ project Information and Advisory Service on Appropriate Technology (ISAT), Eshborn, Deutschland, 1996

сырья для предотвращения замедления процесса сбраживания сырья в реакторе.

**Реактор** обычно тепло-изолирован и сделан из бетона или стали. Для оптимизации прохождения сырья большие реакторы имеют удлиненную форму. Сырье перемешивается медленно движущимися роторами или биогазом. Часто установки состоят из двух и более реакторов.

**Хранилище** используется для хранения биоудобрения в зимнее время и может быть открытым или закрытым и соединенным с газгольдером для сбора остаточного биогаза. Биоудобрения перемешиваются перед подачей на поля.

**Газгольдер** делается или из гибкого материала и находится над емкостью реактора, или изготавливается из стали и располагается рядом с реактором. **Газо-использующий элемент** обычно представляет собой термоэнергетическую установку, которая производит электричество для фермы и сети и тепло для фермы, теплиц и других потребителей.



**Рис. 27. Горизонтальный реактор, Дания .**

Источник: Nordisk Folkecenter 2001.

### Централизованные (общие) установки по переработке

Централизованные установки работают на сырье, собираемом с нескольких близлежащих ферм. Строительство одной общей установки направлено на снижение затрат на строительство и транспортировку и людского труда. Такие установки перерабатывают навоз и другие подходящие виды сырья, такие как собираемые кухонные отходы, отходы рыбных и пищевых хозяйств, густую часть сточных вод. Такие установки были разработаны и в большинстве своем применяются в Дании (см. Рисунок 29) и в местах интенсивного животноводства.

Навоз животных и другие отходы собираются в баках и приемниках, или подаются напрямую с ферм путем транспортировки в специальных вакуумных грузовиках в соответствии с установленным графиком. На сайте установки, навоз смешивается с другими подготовленными отходами, доводится до однородного состояния и подается в реактор установки. Доставка навоза с ферм и внесение биоудобрений на поля ферм является обязанностью централизованной установки. Загрузка сырья ведется в непрерывном режиме, так же как и выгрузка. Процессы загрузки и выгрузки автоматизированы и переработанное сырье подается по трубам в хранилища удобрений, которые закрываются резиновой мембраной для сбора дополнительно выделяющегося биогаза (до 15%) при более низкой температуре, чем в реакторе.



**Рис. 28. Централизованная установка в Дании.**  
Источник: LEMVIG BIOGAS.

До внесения на поля, биоудобрения анализируются для определения состава и ценности (DM, VS, N, P, K, и pH) и иногда проходят процесс разделения на твердую и жидкую части для последующего использования. Фермы, предоставляющие навоз забирают только такую часть удобрений, которую им позволено вносить на поля в соответствии с нормами, установленными законодательством страны.

## Биогазовые установки Кыргызстана

**Наиболее подходящими для работы в условиях Кыргызской Республики являются установки с подогревом и изоляцией реактора и пневматическим перемешиванием сырья**

распространены в Чуйской области Кыргызстана. **Емкость для смешивания сырья** может быть разных

размеров и форм, в зависимости от сырья. Сырье разводится теплой водой для предотвращения замедления процесса переработки сырья в реакторе.

**Реактор** утеплен и сделан из стальных емкостей. Сырье перемешивается пневматическим способом и подогревается до мезофильной или термофильной температуры. Есть

установки, состоящие из двух и более реакторов. Газ обычно собирается в отдельно стоящем газгольдере, который также обычно представляет собой стальную емкость. Газ используется для

обогрева помещений, приготовления пищи, выработки электричества и заправки автомашин. **Хранилище** используется для хранения биоудобрения.



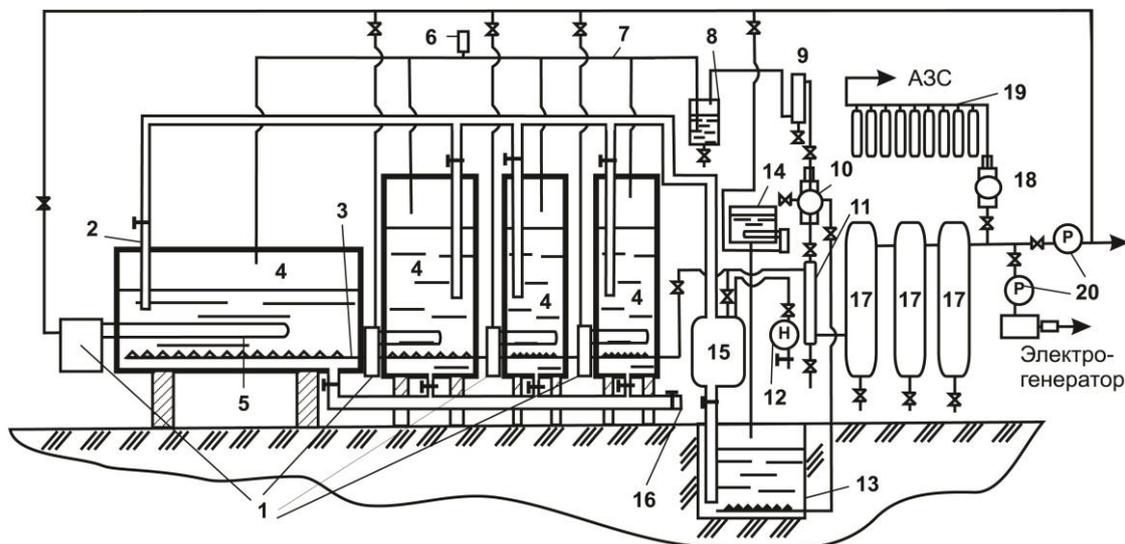
**Рис. 29. Биогаз используется 7 крестьянскими хозяйствами Ассоциации «Фермер» для приготовления пищи и кормов для животных.**

Фото: Веденева Т.А., ОФ «ЦРВИЭЭ»

**Пример 1:** Примером такой установки может служить **установка Ассоциации «Фермер»** в с. Петровка Чуйской области Кыргызстана. Установка состоит из одного горизонтального (60 м<sup>3</sup>) и 3 вертикальных (25 м<sup>3</sup>, 25 м<sup>3</sup>, 40 м<sup>3</sup>) реакторов с пневматической загрузкой и перемешиванием, автоматическим отбором вырабатываемого биогаза. Установка работает с 2002 года и перерабатывает навоз 35 голов КРС, 160 свиней, 350 кур, а также привозной навоз и человеческие фекалии – всего 10 тонн.

Кроме реакторов, биогазовый модуль состоит из абсорбера для отделения углекислоты, газгольдеров общим объемом 30 м<sup>3</sup>, газозлектрического генератора мощностью 20 кВт, а так же установки для заправки автомашин и баллонов биогазом.

Все реакторы работают в мезофильном режиме. Для поддержки оптимальной температуры модуль смонтирован в помещении. Для подогрева загружаемого сырья используется горячая вода, подогреваемая вырабатываемым газом. В газовых котлах для системы подогрева применены горелки инфракрасного излучения. Модуль обеспечен механизмами для транспортировки навоза и полученного удобрения. На загрузке и выгрузке сырья работает трактор МТЗ-80 и разбрасыватель жидких удобрений (РЖТ-5).



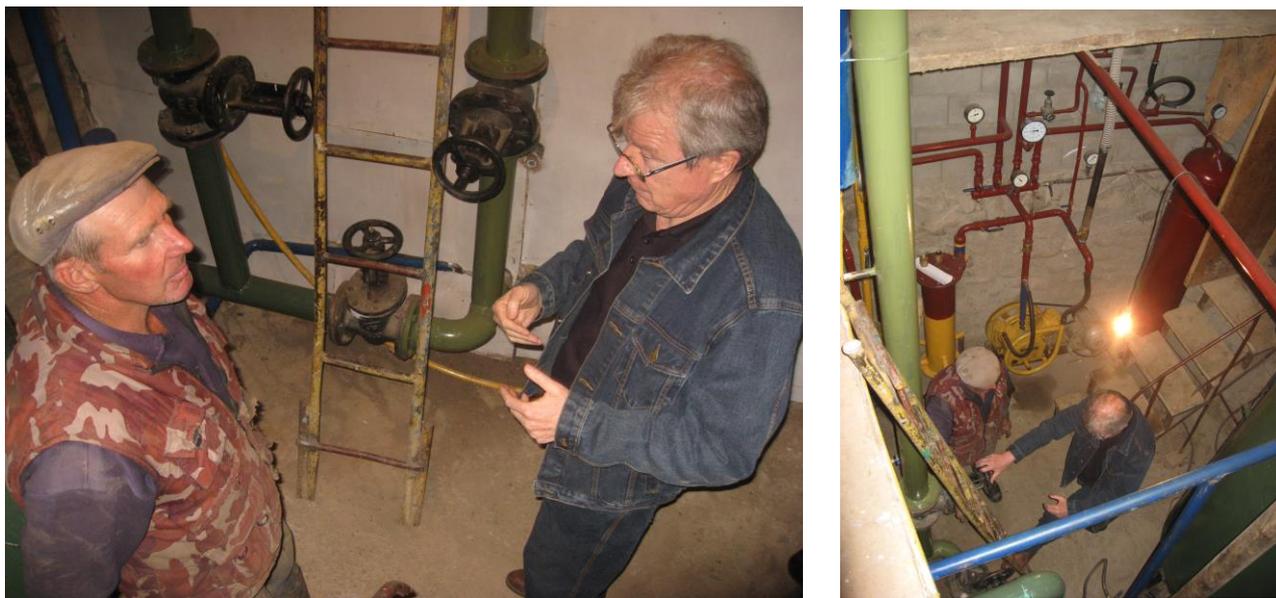
**Рис.30. Внешний вид и схема биогазовой установки в с. Петровка**

*Фото: Веденев А.Г., ОФ «Флюид»*

1 – водогрейный котел; 2 – труба подачи сырья; 3 – пневмоперемешивание; 4 – реакторы; 5 – подогрев сырья; 6 - предохранительный клапан; 7 – газоотвод; 8 – водяной затвор; 9 – фильтр; 10 – компрессор; 11 – ресивер; 12 – насос вакуумный; 13 – навозоприемник; 14 – емкость для подогрева воды; 15 – бункер подачи сырья; 16 – труба выгрузки сырья; 17 – газгольдеры; 18 – компрессор высокого давления; 19 – газгольдеры автозаправки; 20 – редуктор газовый.

**Пример 2: Установка КХ «Фаворит», 25 м<sup>3</sup>.** Установка подземного типа работает в мезофильном режиме сбраживания и перерабатывает отходы крупного рогатого скота, лошадей и свиней. Удобрение используется на собственной пашне, а получаемый биогаз – для бытовых целей

хозяйства. Консультационные услуги по строительству установки со-финансировались Программой BAS EBRR в Кыргызской Республике.



**Рис.31. Биогазовая установка КХ «Фаворит»,** Кыргызская Республика, Иссык-кульская область, с. Григорьевка, завершена в 2010

Объем реакторов, м<sup>3</sup> – 25, пропускная способность по навозу, т/сутки – 1,5, пропускная способность по навозу, т/год – 500, производительность по биогазу, м<sup>3</sup>/сутки – 45, производительность по биогазу, м<sup>3</sup>/год – 15000, газгольдер, м<sup>3</sup> – 5

**Пример 3: Установка КХ «Дары природы», 50 м<sup>3</sup>.** Крестьянское хозяйство «Дары природы» хотело решить несколько задач: во-первых, выращиваемый крестьянским хозяйством крупный рогатый скот, свиньи и другие животные ежедневно производили более 1 тонны навоза в день, которая затем складывалась в специальных ямах на годы, прежде чем перепревший навоз можно было вносить на поля хозяйства. Открытое хранение навоза приводило к постоянному неприятному запаху, загрязнению территории хозяйства, антисанитарии.

Второй задачей было повышение энергетической независимости крестьянского хозяйства, причем желательно от возобновляемого источника энергии, который не приведет к еще большим постоянным экономическим затратам. Ну и конечно, необходимо было решать проблему с улучшением качества и плодородия 34 гектар заболоченных, деградированных земель, которые хозяйство восстанавливало с 1989 года.



**Рис.32. Биогазовая установка КХ «Дары природы», г. Токмак, Кыргызская Республика**

Объем реакторов, м<sup>3</sup> – 50, пропускная способность по навозу, т/сутки – 3,3, пропускная способность по навозу, т/год – 1000, производительность по биогазу, м<sup>3</sup>/сутки – 120, производительность по биогазу, м<sup>3</sup>/год – 39600, газгольдер, м<sup>3</sup> – 10.

Все стоявшие перед крестьянским хозяйством задачи были успешно решены с помощью биогазовых технологий: ежедневно собираемый в хозяйстве навоз разбавляется водой и мочевиной и подается в реактор биогазовой установки, где при специальных условиях, происходит его переработка.

Кроме эффективного решения санитарных проблем, установка производит около 120 кубометров биогаза в сутки. Биогаз состоит на 79% из метана – природного газа и может быть использован в любых газовых приборах. КХ «Дары природы» использует биогаз для отопления, приготовления пищи и подготовки горячей воды в 5 домах работников хозяйства и для производственных нужд, включая подготовку кормов для животных, выработку электричества.

Кроме биогаза, установка производит экологически чистые эффективные биоудобрения в объеме 2,5 тонны в сутки. Крестьянское хозяйство вносит биоудобрения на свои земли в объеме от 5 до 15 тонн на гектар, в зависимости от состояния земли.

Строительство установки частично финансировалось в рамках проекта JICA «Содействие развитию биогазовых технологий в КР».

**Пример 4: Установка жамата «Заря», 50 м<sup>3</sup>.** Установка подземного типа работает в мезофильном режиме сбраживания и перерабатывает отходы крупного рогатого скота.

Удобрение используется на собственной пашне, а получаемый биогаз – для бытовых и производственных нужд крестьянского хозяйства и общественной бани. Строительство установки финансировалось в рамках проекта Еврокомиссии «Развитие микро-ГЭС и биогазовых технологий в КР».



**Рис.33. Биогазовая установка жамата «Заря»,** Кыргызская Республика, Иссык-кульская область, Ак-суйский район, с Теплоключенка. Построена ОФ «Флюид» в 2010.

Объем реакторов, м<sup>3</sup> – 50, пропускная способность по навозу– 3 т/сутки, – 1000 т/год, производительность по биогазу,– 90 м<sup>3</sup>/сутки, – 30000 м<sup>3</sup>/год, газгольдер, м<sup>3</sup> – 10.

**Пример 5: Установка КФХ «Ак-Сарай», 200 м<sup>3</sup>.** Установка подземного типа работает в мезофильном режиме сбраживания и перерабатывает отходы крупного рогатого скота. Удобрение используется на собственной пашне, а получаемый биогаз – для отопления общежития и административного здания крестьянско-фермерского хозяйства.



**Рис.34. Биогазовая установка КФХ «Ак-Сарай»,** Кыргызская Республика, Чуйская область, Сокулукский район, с. Первое мая. Построена ОФ «Флюид» в 2010 году.

Объем реакторов, м<sup>3</sup> – 200, пропускная способность по навозу, – 12 т/сутки, – 4000 т/год, производительность по биогазу, – 360 м<sup>3</sup>/сутки, – 120000 м<sup>3</sup>/год, газгольдер, м<sup>3</sup> – 20

**Пример 6: Биогазовая установка в Обществе с ограниченной ответственностью «ТОРО» (ТОРО), 2015**

Общество с ограниченной ответственностью «ТОРО» (ТОРО) было создано 11 июня 2013 года и занимается производством свежего, охлажденного и замороженного мяса и пищевых субпродуктов. К началу 2015 года поголовье составило 150 голов КРС.

С развитием сбыта КРС для крупных производителей мясных продуктов, а также возможностей расширения в связи со вступлением в Таможенный союз, возникла идея создания высокотехнологичного убойного цеха в соответствии с Кыргызским законодательством и техническими регламентами Таможенного союза, с соблюдением принципов системы контроля НАССР.

В настоящее время в ОсОО «ТОРО» работает линия по убою КРС и МРС, с производственной мощностью 50 голов КРС и 100 голов МРС в смену.

Ключевой целью ОФ «Флюид» в данном проекте являлось содействие созданию типовой мини-бойни КРС в соответствии с техническими регламентами ТС, принципами системы контроля НАССР за счет разработки и внедрения в работу биогазового модуля.

Биогазовая установка наземного типа состоит из реактора с общим объемом 60 м<sup>3</sup>, стенка из 8 мм стали. БГУ ОсОО «ТОРО» способна перерабатывать до 2,5 тонн навоза в сутки при работе в мезофильном режиме. Теплоизоляция реакторов выполнена изовером и пенопластом. Навозоприемник изготовлен из бетона. Бункер загрузки объемом 2,6 м<sup>3</sup> оборудован системой подогрева и перемешивания сырья.

Автоматическая система очистки и откачки биогаза состоит из влаго-отделителя, фильтра очистки от сероводорода, компрессора мощностью привода 7 кВт, двух ресиверов объемом 2,5 м<sup>3</sup> и двух газгольдеров с общим объемом 20 м<sup>3</sup>.

Подготовка сырья (перемешивание) в навозоприемнике осуществляется при помощи воздушного ресивера объемом 2,5 м<sup>3</sup>. Подогрев сырья до необходимой температуры в реакторе, при запуске в работу БГУ, осуществляется при помощи электроэнергии, в дальнейшем часть вырабатываемого



**Рис.35. Биогазовая установка ОсОО «ТОРО»,**

Кыргызская Республика, Чуйская область, Аламединский район, с. Лебединовка. Построена ОФ «Флюид» Ассоциации «Фермер» в 2015 году.

Объем реакторов, м<sup>3</sup> – 60, пропускная способность по навозу, – 2,5 т/сутки, – 830 т/год, производительность по биогазу, – 75 м<sup>3</sup>/сутки, – 25000 м<sup>3</sup>/год, газгольдеры, м<sup>3</sup> – 40

биогаза расходуется с помощью газо-водогрейного котла на подогрев сырья в реакторах. Основная часть биогаза используется для технологических нужд.

На этой установке смонтировано устройство для автоматического перемешивания сырья в реакторах. Перерабатывается навоз КРС и отходы убойного цеха. Получаемые удобрения подготавливаются ОсОО «ТОРО» к реализации.

**Пример 7: Установка кооператива в с. Мопунг, ДНР Корея, 50 м<sup>3</sup>.** Установка наземного типа работает в мезофильном режиме сбраживания и перерабатывает отходы крупного рогатого скота и свиной навоз. Удобрение используется на пашне кооператива, а получаемый биогаз – для отопления административного здания кооператива и приготовления пищи жителями с. Мопунг.

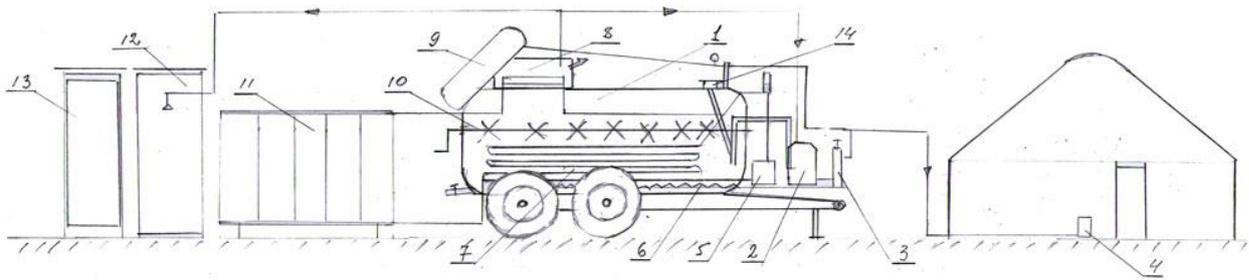


**Рис.36. Биогазовая установка в с. Мопунг, ДНР Корея, провинция Анбьон, построена ОФ «Флюид» в 2013 году при финансировании ПРООН ДНРК.**

Объем реакторов, м<sup>3</sup> – 50, пропускная способность по навозу– 3 т/сутки, – 1000 т/год, производительность по биогазу,– 90 м<sup>3</sup>/сутки, – 30000 м<sup>3</sup>/год, газгольдер, м<sup>3</sup> – 10.

**Пример 8: Экспериментальная передвижная биогазовая установка БЭМ-5,** построена ОФ «Флюид» с использованием солнечных водонагревателей и дополнительным устройством душевой и туалета. Основой для передвижной БГУ использованы шасси и емкость, бывшего в употреблении, разбрасывателя жидких удобрений РЖТ-5. Производительность передвижной БГУ (БЭМ-5М) 5 - 10м<sup>3</sup> биогаза в сутки, объем загружаемого сырья - 0,3 тонны/сутки, перерабатывается в мезофильном режиме сбраживания.





**Рис 37. Внешний вид и схема передвижной биогазовой установки**

Фото: Веденев А.Г., ОП «Флюид»

1 – реактор; 2 – бункер загрузки; 3 – ручной насос; 4 – газовые приборы; 5 – водонагревательный котел; 6 – система перемешивания; 7 – система подогрева; 8 – теплообменник; 9 – газгольдер; 10 – ручная перемешка; 11 – солнечный водонагреватель; 12 – душ; 13 – туалет; 14 – отверстие для загрузки сырья.

Для подогрева сырья в реакторе БГУ используется солнечный водонагреватель, который имеет конструктивную возможность производить нагрев воды в объеме 200 литров для бытовых целей и для разбавления сырья до необходимой влажности перед загрузкой в реактор.

Передвижная БГУ укомплектована душевой кабиной и туалетом. Устройство туалета позволяет сбор фекалий для загрузки в реактор БГУ. Для компактной упаковки, при транспортировке, душевая кабина и туалет разбирается на составные части.

Загрузка сырья в реактор производится или вручную (сырье загружается непосредственно в реактор БГУ) или производится пневмозагрузка сырья в реактор БГУ с использованием ручного насоса или электрического компрессора (в приусадебном варианте). Первые два вида загрузки сырья в реактор БГУ могут использоваться как в приусадебном варианте работы БГУ, так и на отгонном пастбище. Для пневмозагрузки сырья в реактор изготовлен специальный загрузочный бункер.

Для работы передвижной БГУ имеется четыре варианта подогрева сырья в реакторе:

- С использованием солнечных водонагревателей;
- С использованием электроподогрева;
- С использованием твердого топлива;
- С использованием газа.

Установка предназначена для обеспечения биогазом жилья как на отгонном пастбище (пищеприготовление, горячая вода, отопление) так и в приусадебном варианте и буксируется трактором МТЗ-80. В качестве газгольдера на отгонном пастбище используется колесная камера трактора К-700. В приусадебном варианте используется стальной газгольдер.

## Строительство биогазовой установки

До начала строительства биогазовой установки нужно учитывать условия, необходимые для ее эффективной работы. Поломка или плохая работа биогазовой установки, как правило, являются результатом ошибок при планировании. Последствия таких ошибок могут быть заметны сразу или после нескольких лет работы установки. Тщательное и всестороннее планирование очень важно для исключения ошибок до того, как они станут причиной непоправимых поломок.

Планирование сооружения сельскохозяйственных биогазовых установок должно начинаться с определения потенциала производства биогаза и биоудобрения на основании имеющегося количества сырья, а также необходимого хозяйству количества энергии.

Если биогазовая установка предназначена в первую очередь как источник энергии, строительство рекомендовано только в том случае, когда расчеты потенциального производства биогаза достаточны для удовлетворения потребности хозяйства в энергии.

## Выбор размера реактора

Размер реактора измеряется в кубических метрах и зависит от количества, качества и типа сырья, а также выбранной температуры и времени сбраживания. Есть несколько способов определения необходимого объема реактора.

### **Отношение суточной дозы загрузки сырья и размера реактора**

Суточная доза загрузки сырья определяется, исходя из времени сбраживания (время оборота реактора) и выбранного температурного режима. Для мезофильного режима сбраживания, время оборота реактора составляет от 10 до 20 суток, а суточная доза загрузки – от 1/20 до 1/10 от общего объема сырья в реакторе.

### Размер реактора для переработки определенного количества сырья

Сначала, исходя из количества животных, опытным путем определяется суточное количество навоза (ДН) для переработки в биогазовой установке. Затем, сырье разбавляется водой для достижения 86% - 92% влажности.

В большинстве сельских установок, соотношение навоза и воды, смешиваемых для получения сырья колеблется от 1:3 до 2:1. Таким образом, количество загружаемого сырья (Д) – это сумма отходов хозяйства (ДН) и воды (ДВ), которой они разбавляются.

Для переработки сырья при мезофильном режиме рекомендуется использовать дозу суточной загрузки Д, равную 10% от объема общего загруженного в установку сырья (ОС). **Общий объем сырья в установке не должен превышать 2/3 объема реактора.**

Таким образом, объем реактора (ОР) рассчитывается по следующей формуле:

$$ОС = 2/3 ОР, \text{ а } ОР = 1,5 ОС$$

Где

$$ОС = 10 \times Д$$

$$Д = ДН + ДВ.$$

**Пример 7:** Приусадебное хозяйство содержит 10 КРС, 20 свиней и 35 кур. Объем суточных экскрементов от 1 КРС = 55 кг, от одной свиньи = 4,5 кг, от 1 курицы = 0,17 кг. Объем суточных отходов хозяйства ДН будет равен  $10 \times 55 + 20 \times 4,5 + 35 \times 0,17 = 550 + 90 + 5,95 = 645,95$  килограмм, примерно 646 кг. Влажность экскрементов КРС и свиней составляет 86%, а куриного помета – 75%. Для достижения 85% влажности необходимо добавить к птичьему помету 3,9 литра воды (около 4 кг).

Значит, суточная доза загрузки сырья составит около 650 кг. Полная загрузка реактора  $ОС = 10 \times 0,65 = 6,5$  тонн, и объем реактора  $ОР = 1,5 \times 6,5 = 9,75$ , или примерно  $10 \text{ м}^3$ .

### Расчет выхода биогаза

Расчет суточного выхода биогаза подсчитывается в зависимости от типа сырья и суточной порции загрузки.

**Таблица 9. Расчет выхода биогаза для разных типов сырья**

Тип сырья	Выход газа (м <sup>3</sup> на 1 кг сухого вещества) <sup>18,8</sup>	Выход газа по опыту ОФ «Флюид» (минимум м <sup>3</sup> на 1 тонну при влажности 85 %)
Навоз КРС	0,250 - 0,340	25-35
Свиной навоз	0,340 - 0,580	35-55
Птичий помет	0,310 - 0,620	30-60
Конский навоз	0,200 - 0,300	20-30
Овечий навоз	0,300 - 0,620	30-60

**Пример 8:** Приусадебное хозяйство содержит 10 КРС, 20 свиней и 35 кур. Объем суточного количества экскрементов от КРС = 55 кг, от свиньи = 4,5 кг, от курицы = 0,17 кг. Объем суточных отходов хозяйства будет равен 550 килограмм экскрементов КРС (влажность 85%), 90 килограммам свиных экскрементов (влажность 85%) и 5,95 килограммам куриного помета (влажность 75%). После разбавления помета водой для достижения 85% влажности, количество сырья от кур будет составлять около 10 кг.

Согласно таблице, выход биогаза с 1 килограмма

- навоза КРС при влажности 85% примерно равен 0,025 – 0,035 м<sup>3</sup> биогаза
- свиного навоза при влажности 85% примерно равен 0,035 – 0,055 м<sup>3</sup> биогаза
- куриного помета при влажности 85% примерно равен 0,03 – 0,06 м<sup>3</sup> биогаза.
- Следовательно,
- выход биогаза с 550 килограмм навоза КРС будет равен 13,75 – 19,25 м<sup>3</sup> биогаза
- выход биогаза с 90 килограмм свиного навоза будет равен 3,15 – 4,95 м<sup>3</sup> биогаза
- выход биогаза с 10 килограмм куриного навоза будет равен 0,3 – 0,6 м<sup>3</sup> биогаза,
- и общий минимальный выход биогаза будет **17,2 – 24,8 м<sup>3</sup> биогаза** в сутки.

### Баланс между потребностью в энергии и выходом биогаза

Необходимость в энергии для каждого индивидуального хозяйства определяется исходя из суммы всех настоящих и будущих потребительских ситуаций, таких как приготовление пищи, свет, производство энергии. Необходимо также учитывать потребление биогаза на подогрев сырья в реакторе, которое в условиях Кыргызстана составляет от 10% до 25%, в зависимости от времени года.

Количество биогаза, необходимое хозяйству, можно определить по количеству энергии, потребляемой ранее. Например, сжигание 1 кг дров аналогично сжиганию 650 литров или 0,65 м<sup>3</sup> биогаза, сжигание 1 килограмма кизяка – 0,7 м<sup>3</sup> биогаза, а 1 кг угля – 1,1 м<sup>3</sup> биогаза.

Необходимый объем биогаза для приготовления пищи может быть определен на основании времени, ежедневно затрачиваемого на приготовление пищи. Необходимое количество биогаза для

приготовления одной порции пищи для одного человека составляет  $0,15 - 0,3 \text{ м}^3$  биогаза. Для кипячения 1 литра воды необходимо  $0,03 - 0,05 \text{ м}^3$  биогаза. Для отопления  $1 \text{ м}^2$  жилой площади необходимо около  $0,2 \text{ м}^3$  биогаза в сутки. Бытовые горелки потребляют  $0,20 - 0,45 \text{ м}^3$  в час.

**Пример 9:** Семья из 4 человек живет в доме площадью  $100 \text{ м}^2$ , содержит 20 коров на площади  $100 \text{ м}^2$  и перерабатывает навоз в биогазовой установке с объемом реактора  $15 \text{ м}^3$ .

Трехразовое приготовление пищи для семьи из 4 человек потребует от **1,8 до 3,6**  $\text{м}^3$  биогаза, а отопление помещения площадью  $100 \text{ м}^2$  потребует около **20**  $\text{м}^3$  биогаза в сутки. На обогрев реактора (например, в сентябре) необходимо 15% вырабатываемого биогаза. Для подогрева реактора установки объемом  $15 \text{ м}^3$  нужно будет тратить около **6**  $\text{м}^3$  биогаза ежедневно.

На содержание 1 коровы необходимо около 3 литров кипяченой воды в день, следовательно, для содержания 20 коров – необходимо вскипятить 60 литров воды, на что уйдет  $1,8 - 3 \text{ м}^3$  биогаза в день. На отопление необходимых для животных помещений общей площадью  $100 \text{ м}^2$  необходимо  $20 \text{ м}^3$  в сутки. Таким образом, на содержание животных необходимо **21,8 – 23**  $\text{м}^3$  биогаза в сутки. На все хозяйство необходимо **49,6 – 52,6**  $\text{м}^3$  биогаза в сутки.

## Выбор размера газгольдера

Размер газгольдера, то есть его объем, зависит от уровня производства и уровня потребления биогаза. В идеале, газгольдер должен быть рассчитан для того, чтобы вмещать суточный объем вырабатываемого биогаза. В зависимости от типа газгольдера и выдерживаемого им давления, объем газгольдера составляет от 1/5 до 1/3 от объема реактора.

## Выбор месторасположения установки

Золотое правило расположения биогазовой установки гласит, что установка принадлежит ферме, а не кухне. Лучше, если емкость для смешивания сырья напрямую соединяется с полом фермы. Даже если придется проложить несколько метров труб, это дешевле, чем транспортировка сырья.

Уровень пола фермы должен располагаться выше уровня емкости для подготовки сырья, тогда навоз и урина животных будут попадать в эту емкость под действием сил гравитации самостоятельно. Если узел выгрузки биогазовой установки будет расположен выше уровня близлежащих полей, это будет способствовать более легкому распределению биоудобрений по этим полям.

## Выбор конструкции биогазовой установки

В настоящее время разработано множество конструкций биогазовых установок, подходящих для работы в различных климатических и социо-культурных условиях. Выбор конструкции биогазовой установки – важнейший этап процесса планирования. До выбора конструкции нужно иметь представление о базовых проблемах и выборах, возможных для биогазовой установки.

В местностях со сравнительно холодным климатом, таких как Кыргызстан, изоляция и подогрев реактора важны для круглогодичной работы установки. Количество и тип перерабатываемого сырья влияют на размер и тип установки и конструкции систем загрузки и выгрузки сырья. Выбор конструкции установки также зависит от наличия строительных материалов.

### **Критерии для выбора конструкции:**

**Место:** определяет в основном подземный или надземный реактор будет строиться и в случае надземной конструкции, вертикальный или горизонтальный.

**Существующие сооружения** могут быть использованы для хранения биоудобрений, например пустующие ямы или металлические емкости. Для уменьшения затрат при планировании необходимо учитывать наличие уже готовых частей установки.

**Наличие сырья** определяет не только размер и форму емкости для смешивания сырья, но и объем реактора, подогревающие и перемешивающие устройства. Перемешивание с помощью биогаза возможно при содержании твердых частиц ниже 5%. Механическое перемешивание сталкивается с трудностями при содержании в сырье более 10% твердых частиц.

## Реактор

Главный критерий при выборе конструкции реактора - это возможность реализовать ее на практике и удобство, с точки зрения, обслуживания и эксплуатации. Вне зависимости от выбора конструкции, реактор должен отвечать следующим требованиям:

**Водо- /газонепроницаемость** – водонепроницаемость нужна для предотвращения утечек и ухудшения качества грунтовых вод, газонепроницаемость - для сохранения полного объема вырабатываемого биогаза и для предотвращения смешивания воздуха с газом в реакторе, что может быть взрывоопасно.

**Теплоизоляция** – необходимое условие для эффективной работы биогазовой установки в климатических условиях Кыргызской Республики.

**Минимальная площадь поверхности** снижает стоимость строительства и минимизирует потери тепла через стенки реактора.

**Стабильность конструкции реактора** необходима для выдерживания всех нагрузок (давление газа, вес и давление сырья, вес покрытий) обеспечивает долговременную работу установки.

#### **Формы реактора**

С точки зрения динамики жидкостей, оптимальна яйцеобразная форма реактора, но ее сооружение требует больших затрат. Второй наилучшей формой является цилиндр с коническим или полукруглым дном и верхом. Квадратные реакторы из бетона или кирпича не рекомендуются к использованию, так как в углах образуются трещины из-за давления сырья, а также собираются твердые частицы, что нарушает процесс сбраживания.

Реактор может разделяться с помощью **внутренних перегородок** на несколько секций для предотвращения появления корки на поверхности сырья и для обеспечения более полного сбраживания сырья.

#### **Материалы для сооружения реакторов**

Реакторы могут сооружаться из следующих материалов:

**Стальные емкости** обладают преимуществом герметичности, могут выдерживать большое давление и сравнительно легки в изготовлении. Большой проблемой, однако, является чувствительность к ржавчине, которую необходимо предотвращать подходящими покрытиями. Экономически такие емкости выгодны только в случае использования уже готовых емкостей. При наличии металлической цистерны достаточного объема необходимо проверить внутреннюю и внешнюю поверхности стенок на предмет наличия раковин, качества сварки, наличия отверстий и других повреждений, которые должны быть устранены. Затем эти поверхности должны быть очищены и окрашены.

**Пластиковые емкости**, используемые в качестве реакторов бывают мягкие и твердые. Мягкие емкости легко повредить и сложно утеплить для круглогодичной работы. Твердые пластиковые емкости отличаются стабильностью конструкции и не подвержены коррозии, поэтому рекомендуются к использованию для психофильной переработки органических отходов.

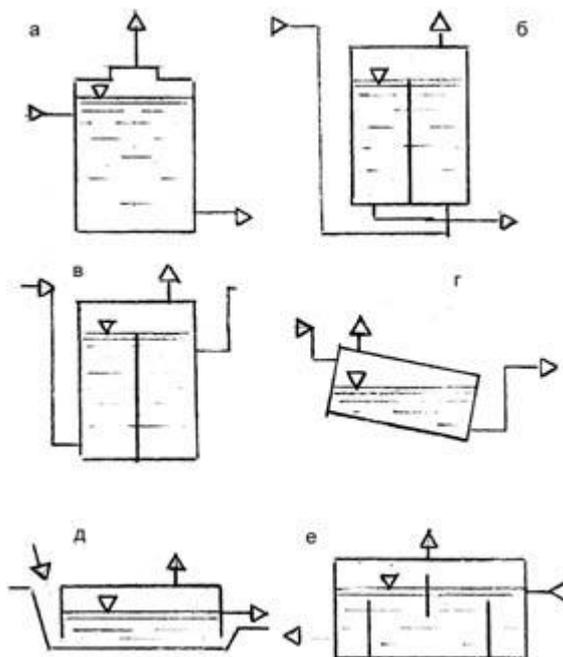
**Бетонные емкости** приобрели большую популярность в развивающихся странах в последние годы. Необходимая газонепроницаемость требует осторожного строительства и специальных покрытий, часты трещины в углах реактора, но большими плюсами являются недорогое строительство и практически неограниченный срок эксплуатации.

**Кладка** - наиболее часто используемый метод конструкции для маленьких реакторов в Индии и Китае. Можно использовать только хорошо обожженные кирпичи, бетонные блоки или каменные кирпичи хорошего качества.

#### **Обеспечение герметичности реактора<sup>8</sup>**

При строительстве биогазовой установки с бетонным, кирпичным или каменным реактором, необходимо обеспечить газо- и водонепроницаемость реактора. Необходимо покрыть реактор изнутри слоем вещества, способного выдержать температуры до 60°C и устойчивому к воздействию органических кислот и сероводорода.

Опыт строительства купольных и траншейных установок в Кыргызской Республике, проведенный в рамках проекта "Содействие распространению биогазовых технологий в КР" Японского Агентства Международного Сотрудничества (JICA) показал, что обеспечение



**Рис.38. Различные конструкции реактора и систем загрузки и выгрузки**

- а – цилиндрический реактор с верхней загрузкой;
- б – цилиндрический реактор с нижней загрузкой;
- в – цилиндрический двухсекционный реактор;
- г – наклонный реактор;
- д – траншейный реактор с плавающим покрытием;
- е – горизонтальный секционный реактор.

герметичности реактора является основной, иногда неразрешимой проблемой неметаллических реакторов (см. рис. 37).

**Цементное покрытие с добавками.** Хорошие результаты по водо- и газонепроницаемости показало добавление водонепроницаемых материалов к цементу. Для газонепроницаемости необходимо добавление в два раза большего количества водонепроницаемого вещества. Время между нанесением слоев покрытия не должно превышать суток, так как после суток к водонепроницаемой поверхности невозможно прикрепить еще один слой. Следующий рецепт использовался в Танзании и показал хорошие результаты:

1. слой: цементно-водная замазка;
2. слой: 1 см цемент : песок 1 : 2,5;
3. слой: цементно-водная замазка;
4. слой: цемент : известь : песок 1 : 0,25 : 2,5;
5. слой: цементно-водная замазка с водонепроницаемым материалом;
6. слой: цемент : известь : песок с водонепроницаемой смесью и мелкий песок 1 : 0,25 : 2,5;
7. слой: цементно-водная замазка с водонепроницаемым материалом.

Все семь слоев должны быть нанесены в течение одних суток.

**Асфальт с алюминиевой фольгой.** Асфальтовые покрытия легко наносятся и сохраняют эластичность в течение долгого времени. На сухую поверхность реактора наносится слой асфальта. На все еще липкий слой асфальта наклеиваются куски фольги, перекрывающие друг друга. Затем наносится второй слой асфальта.

Недостаток асфальтового покрытия состоит в воспламеняемости составных частей такого



**Рис. 37. Купольная биогазовая установка с кирпичным реактором(слева) и канальная установка (справа) на стадии строительства в с. Саруу, Иссык-Кульская область КР (проект JICA).**

*Фото: Момунов К., JICA в КР*

покрытия и в том, что оно не может быть нанесено на влажные поверхности. Сушка бетонного, кирпичного или каменного реактора требует нескольких недель, если не использовать специальные приспособления, такие как переносная печка. Кроме того, асфальтовое покрытие может отслоиться при движении сырья в реакторе.

**Парафин.** Парафин, разбавленный 2-5% керосина или нового моторного масла, подогревается до температуры 100 - 150°C и наносится на нагретую горелкой поверхность реактора. Парафин проникает в покрытие и формирует глубоко проникающий защитный слой. Если нет парафина, можно использовать свечной воск.

### **Расположение реактора**

Месторасположение установки зависит от нескольких факторов – наличие свободных площадей, отдаленность от жилых помещений, места складирования отходов, расположение мест содержания животных и т.д. В зависимости от глубины залегания грунтовых вод, удобства загрузки и выгрузки сырья, реактор может иметь наземное, частично или полностью заглубленное положение.

Реактор может быть размещен над поверхностью земли на фундаменте, заглублен в землю или установлен внутри помещения, в котором находятся животные. Реактор должен иметь люк необходимый для проведения периодических профилактических и ремонтных работ внутри реактора. Между корпусом и крышкой должна быть прокладка из резины или специального герметизирующего состава. По возможности, рекомендуется подземное размещение, так как оно позволяет уменьшить капиталовложения и исключает использование дополнительного оборудования для загрузки сырья. Значительно улучшается качество терморегулирования, а также дает возможность использовать дешевые теплоизоляционные материалы – глину и солому.

### **Термоизоляционные материалы**

Большинство биогазовых установок Кыргызстана были построены без обеспечения теплоизоляции реактора. Отсутствие теплоизоляции позволяет установке работать только на протяжении теплого времени года, а при наступлении холодов существует опасность замерзания сырья в реакторе и последующего разрыва реактора.

Термоизоляционные материалы должны иметь хорошие изолирующие свойства, быть дешевыми и доступными. Подходящими материалами для установок с подземным или полуподземным расположением реактора являются солома, глина, шлак, сухой навоз. Утепление реактора производится послойно. Например, для подземного реактора, после подготовки котлована, сначала укладывают слой полиэтиленовой пленки для предотвращения контакта теплоизоляции с почвой, затем засыпают слой соломы, затем глины на дно котлована, после чего устанавливают реактор. Затем в оставшееся пространство между реактором и почвой снова засыпают слой изоляционных материалов до верхней части реактора, после чего делают досыпку глины со шлаком толщиной не менее 300 мм.

### **Контрольно-измерительные приборы**

Контрольно-измерительные приборы, устанавливаемые на реакторы, включают: контроль уровня сырья в реакторе, контроль температуры и давления внутри реактора. Контроль уровня сырья можно осуществлять через всевозможные поплавковые устройства, электронные приборы и т.д. Контроль температуры обыкновенным градусником или электронным имеющими шкалу измерения от 0 до 70 °C, а давление - манометрами.

### **Системы загрузки и выгрузки сырья**

Работа БГУ в режиме непрерывной загрузки, оптимальная с точки зрения получения наибольшего количества биогаза и биоудобрений, а также стабильности работы установки, предполагает ежедневную загрузку сырья и выгрузку сброженной массы.

#### **Емкость для подачи сырья**

Свежий навоз обычно собирается в емкость для подачи сырья перед тем, как загружается в реактор. В зависимости от типа установки, размер емкости должен равняться суточному или двойному суточному объему сырья. Емкость используется и для достижения нужной однородности и влажности сырья, иногда с применением механических перемешивающих устройств.

#### **Месторасположение емкости**

Расположение емкости на солнечной стороне может способствовать предварительному подогреву сырья для того, чтобы процесс сбраживания мог начаться сразу после загрузки новой порции сырья в реактор. В случаях установок, напрямую связанных с фермой, нужно строить емкость так, чтобы сырье стекало туда под действием гравитации. Туалеты по соображениям гигиены должны соединяться напрямую с трубой загрузки сырья.

#### **Загрузочное и выгрузочное отверстия**

Загрузочное и выгрузочное отверстия ведут прямо в реактор и располагаются, как правило, на противоположных концах реактора для равномерного распределения свежего сырья по всему объему реактора и эффективности удаления переработанного шлама. Монтаж загрузочного и выгрузочного отверстий производится до установки реактора на фундамент и теплоизоляционных работ.

Для установок с заглубленными реакторами и ручной загрузкой сырья загрузочное и выгрузочное отверстия ведут в реактор под острым углом.



**Рис.39. Приемник для подготовки сырья.**

*Фото: Веденева Т.А., ЦРВИЭЭ*

Для обеспечения герметичности реактора в процессе загрузки и выгрузки входное и выходное отверстия располагаются под наклоном к вертикальной оси таким образом, чтобы нижний конец трубы был расположен ниже уровня жидкости. Благодаря этому создается гидравлический затвор, препятствующий проникновению воздуха в реактор.

### **Ручная загрузка и выгрузка сырья**

Наиболее простым способом загрузки и выгрузки является способ перелива, заключающийся в том, что при загрузке свежего навоза уровень шлама в реакторе поднимается и через сообщающуюся с ним переливную трубу такое же количество выгружается в емкость для сбора биоудобрений.

Загружаемая масса может содержать твердые частицы достаточно крупного размера, например, подстилочный материал (солому, опилки), стебли растений, а также посторонние предметы. Для того чтобы трубы не забивались, их диаметр должен быть не менее 20 - 30 см. Загрузочная труба соединяется с бункером или емкостью предварительной подготовки сырья.

На трубопроводах подачи и слива сырья из реактора устанавливаются задвижки винтовые или полуоборотные.



**Рис.40. Компрессор мощностью 4 кВт для пневматической загрузки сырья и отбора биогаза.**

*Фото: Веденева Т.А., ЦРВИЭЭ*

### **Загрузка и выгрузка с помощью насосов**

Насосы становятся необходимой частью биогазовой системы, когда количество сырья требует быстрой загрузки и земное притяжение не может быть использовано по причине топографии или характеристик сырья. Насосы нужны для перекрытия разницы в высоте между уровнем закачки сырья и биогазовой установкой.

Электродвигатели насосов подвержены износу, дорогие, потребляют энергию и могут сломаться. Поэтому рекомендуется использовать другие методы загрузки сырья. Если нельзя избежать использования насосов, они устанавливаются двумя способами:

- **Сухая установка:** насос устанавливается вместе с трубой. Сырье свободно течет до насоса и ускоряется им.
- **Влажная установка:** насос устанавливается вместе с мотором внутри сырья. Мотор заключен в непроницаемый контейнер. Или насос работает с помощью вала от мотора снаружи сырья.

### **Пневматическая загрузка и выгрузка сырья**

Оптимальным способом подачи и перемешивания сырья является пневматический. Этот способ используется на всех установках ОФ «Флюид» Ассоциации «Фермер». Пневматическое загрузочное устройство использует бункер подачи сырья (бак-смеситель), для которого используются стальные емкости от 0,5 до 1 м<sup>3</sup>, выдерживающие давление до 5 кгс/см<sup>2</sup> и трубопроводы диаметром не менее 100 мм с задвижкой. Сырье загружается в бункер и из бункера в реактор с помощью компрессора.

Применяются поршневые компрессоры марки ИФ-56 для малых и средних биогазовых установок с объемом реакторов до 40 м<sup>3</sup>. Для больших установок с объемом реакторов от 50 м<sup>3</sup> используется компрессор ФУ-12, одновременно служащий для откачки вырабатываемого биогаза.

## **Системы сбора биогаза**

Система сбора биогаза состоит из распределительного газового трубопровода с запорной арматурой, сборника конденсата, предохранительного клапана, компрессора, ресивера, газгольдера и потребителей биогаза (кухонные плиты, нагреватели воды, двигатели внутреннего сгорания и др.) Система монтируется только после установки биогазового реактора в рабочее положение.

Отверстие для отбора биогаза из реактора должно располагаться в его верхней части. Вслед за сборником конденсата устанавливается предохранительный клапан, а также водяной затвор, выполненный в виде емкости с водой, который обеспечивает пропускание газа в только одном направлении.

### **Водяные затворы**

Биогаз, образующийся в реакторе биогазовой установки, содержит большое количество водяных паров, которые могут конденсировать на стенках трубопроводов и приводить к их закупорке. В идеале, газовая система должна располагаться так, чтобы конденсирующаяся влага могла стекать прямо в реактор. Если это невозможно, на низких участках системы должны быть установлены водяные затворы. Ручные водные затворы легки в эксплуатации, но если их регулярно не опустошать, система будет блокироваться из-за слишком высокого уровня воды в них.

### Газопровод

Газовая система соединяет биогазовую установку с газовыми приборами с помощью труб. Эта система должна быть безопасной, экономичной и предоставлять необходимое количество газа для каждого прибора. Наиболее часто используются трубы из гальванизированной стали или пластиковые трубы. Очень важно, чтобы газовая система была газонепроницаемой и служила на протяжении всего эксплуатационного периода биогазовой установки.

Трубопроводы для подачи биогаза от установки к потребителям должны быть защищены от повреждения. Утечки газа могут быть проверены с помощью мыльного раствора, наносимого на места соединения труб. Газопровод также должен быть оснащен **предохранительно-сбросным** клапаном, выпускающим биогаз в атмосферу при повышении давления свыше 0,5 кгс/с м<sup>2</sup>. Более предпочтительно сжигание избытка биогаза в факельных горелках.

### Газовые трубы

Важно правильно установить газопроводную систему. Требования к трубопроводной системе для биогаза не отличаются от общих стандартов. Можно использовать пластиковые трубы, устойчивые к действию ультрафиолетовых солнечных лучей.

### Стальные трубы

Трубы диаметром 1,2 – 1,8 см и длиной менее 30 метров подходят для маленьких и средних биогазовых установок. Для больших установок, большей длины труб и меньшего давления необходим особый расчет размера труб. При установке газовых труб особое внимание должно уделяться:

- газонепроницаемым соединениям
- водяному затвору на самом низком участке труб для сбора влаги
- защите от механических повреждений

Гальванизированные стальные трубы являются надежной и долговечной альтернативой пластиковым трубам. Они могут быть демонтированы и использованы снова, если необходимо. Они удароустойчивы, но дорогие и установка их возможна только при наличии квалифицированных специалистов, поэтому они рекомендуются только в тех местах, где нельзя установить пластиковые трубы.

### Пластиковые трубы

Пластиковые (PVC) трубы дешевы и легки в установке, но они реагируют на солнечную радиацию и могут быть легко сломаны, поэтому рекомендуется устанавливать их под землей.

### Диаметр труб

Необходимый диаметр труб зависит от расхода биогаза газовыми приборами и расстоянием между газгольдером и приборами, в которых используется биогаз. Большие расстояния понижают давление биогаза в трубе. Чем длиннее расстояние и больше расход газа, тем больше потери за счет трения. Углы и арматура увеличивают потери давления. Потери давления в трубах из пластика меньше, чем в трубах из гальванизированной стали. Таблица 12 содержит диаметры труб и расход биогаза, а также длину труб для потерь давления менее чем 5 мбар.

**Таблица 10. Подходящий диаметр труб для разных длин труб и разного расхода газа<sup>8</sup>**

	Гальванизированные стальные трубы			PVC трубы			
	Длина [м]:	20	60	100	20	60	100
<b>Расход [м<sup>3</sup>/ч]</b>							
0.1		1,2 см	1,2 см	1,2 см	1,2 см	1,2 см	1,2 см
0.2		1,2 см	1,2 см	1,2 см	1,2 см	1,2 см	1,2 см
0.3		1,2 см	1,2 см	1,2 см	1,2 см	1,2 см	1,2 см
0.4		1,2 см	1,2 см	1,2 см	1,2 см	1,2 см	1,2 см
0.5		1,2 см	1,2 см	1,8 см	1,2 см	1,2 см	1,2 см
1.0		1,8 см	1,8 см	1,8 см	1,2 см	1,8 см	1,8 см
1.5		1,8 см	1,8 см	2,4 см	1,2 см	1,8 см	1,8 см
2.0		1,8 см	2,4 см	2,4 см	1,8 см	1,8 см	2,4 см

Из таблицы следует, что для пропуска расхода газа 1,5 м<sup>3</sup>/ч и длине труб до 100 метров наиболее подходящими являются пластиковые трубы диаметром 1,8 см. Другая возможность заключается в выборе для главной трубы диаметра 2,4 см и диаметра 1,2 см для всех остальных труб системы.

### **Расположение трубопроводной системы**

Пластиковые трубы могут быть использованы для подземных систем или систем, защищенных от солнца и механических ударов. Во всех других случаях используются гальванизированные стальные трубы. Для отвода газа непосредственно от биогазовой установки рекомендуется использовать гальванизированные стальные трубы.

Пластиковые трубы должны располагаться на глубине не менее 25 см под землей и быть окружены песком или мягкой землей. Затем после проверки трубопроводной системы на герметичность канава аккуратно засыпается обычной землей. Проверка на герметичность производится с помощью закачивания воздуха в пустую трубопроводную систему под давлением в 2,5 раза больше максимального ожидаемого газового давления. Если после нескольких часов очевидны потери воздуха – понижается давление, тогда все соединения проверяются путем полива их мыльной водой (при утечках газа на поверхности труб будут образовываться пузыри).

### **Краны и арматура**

Наиболее надежные краны – хромированные шаровые клапаны. Клапаны, обычно используемые для водных систем, не подходят для использования в газовой системе. Главный газовый клапан должен быть установлен близко к реактору. Шаровые краны должны быть установлены на всех газовых приборах. Правильно подобранные и установленные краны и арматура позволяют проводить работы по ремонту и чистке газовых приборов без отключения главного газового крана.

### **Газгольдеры**

Оптимальный способ накопления биогаза зависит от того, для каких целей будет использован биогаз. Если предусмотрено прямое сжигание в горелках котлов и двигателях внутреннего сгорания, то большие газгольдеры не нужны. В таких случаях газгольдеры используются для выравнивания неравномерности газовыделения и улучшения условий последующего горения.

В условиях небольших БГУ в качестве газгольдеров могут быть использованы большие автомобильные или тракторные камеры, но чаще всего используются пластиковые или стальные газгольдеры.



**Рис.41. Стальные газгольдеры среднего давления в с. Петровка**  
Фото: Веденев А.Г., ОФ «Флюид»

### **Пластиковые газгольдеры**

Газгольдеры, сделанные из пластика или резины используются в развитых странах для сбора биогаза в совмещенных установках, где пластиком покрывается открытая емкость, служащая в качестве реактора. Еще одним вариантом является отдельный пластиковый газгольдер.

### **Стальные газгольдеры**

Стальные газгольдеры можно разделить на два вида:

- газгольдеры низкого давления, сухие и влажные (0,01- 0,05 кгс/см<sup>2</sup>). Вместо установки таких газгольдеров, следует рассмотреть возможность использования пластикового газгольдера, так как отдельно стоящие газгольдеры низкого давления стоят больше и оправданы только в случае большого расстояния (минимум 50-100 м) от установки до использующих биогаз приборов. Такие газгольдеры также используются для сглаживания разницы между ежесуточным производством и использованием газа.
- газгольдеры среднего (8-10 кгс/см<sup>2</sup>) и высокого (200 кгс/см<sup>2</sup>) давления. Газ в такие газгольдеры закачивается с помощью компрессора. Газгольдеры среднего давления используются в Кыргызстане на средних и крупных биогазовых установках. Газгольдеры высокого давления используются для заправки автомашин и баллонов.

### Контрольно-измерительные приборы

Контрольно-измерительные приборы, устанавливаемые на газгольдеры, включают: водяной затвор, предохранительный клапан, манометр и редуктор давления. Стальные газгольдеры должны быть заземлены.

### Системы перемешивания

#### Цели перемешивания

Перемешивание сброженной массы в реакторе повышает эффективность работы биогазовых установок и обеспечивает:

- высвобождение образующегося биогаза;
- перемешивание свежего субстрата и популяции бактерий;
- предотвращение формирования корки и осадка;
- предотвращение появления участков разной температуры внутри реактора;
- обеспечение равномерного распределения популяции бактерий;
- предотвращение формирования пустот и скоплений, уменьшающих рабочую площадь реактора.

#### Методы перемешивания.

Перемешивание сырья может осуществляться следующими основными способами: механическими мешалками, биогазом, пропускаемым через толщу сырья и перекачиванием сырья из верхней зоны реактора в нижнюю. Рабочими органами механических мешалок являются шнеки, лопасти, планки. Приводиться в действие они могут вручную, или от двигателя.

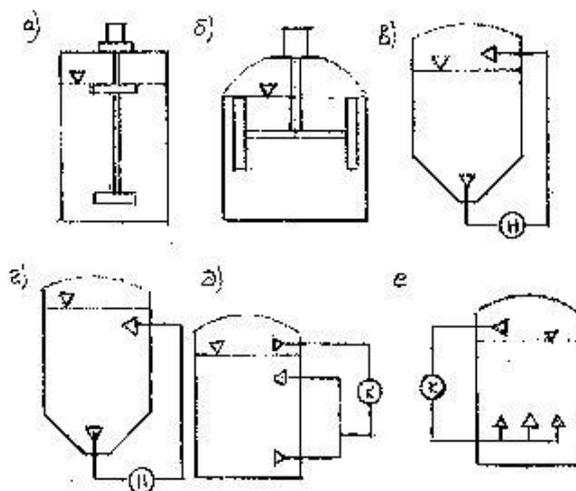
#### Механическое перемешивание

Механическое перемешивание с помощью лопаточных роторов используются чаще всего в горизонтальных стальных реакторах. Горизонтальная ось проходит по всей длине реактора. К ней крепятся лопасти или трубки, загнутые в петли. При повороте оси сырье перемешивается, корка ломается, а осадок устремляется к выходному отверстию.

Механические мешалки с ручным приводом наиболее просты в изготовлении и эксплуатации. Они используются в реакторах небольших установок с незначительным выходом биогаза. Конструктивно они представляют собой горизонтально или вертикально установленный вал внутри реактора параллельно центральной оси. На валу закреплены лопасти или другие элементы с винтовой поверхностью, обеспечивающие перемещение массы, обогащенной метановыми бактериями, по направлению от места выгрузки к месту загрузки. Это позволяет увеличить скорость образованию метана и сократить время пребывания сырья в реакторе.



**Рис.42. Стальные газгольдеры высокого давления в с. Петровка**  
Фото: Веденев А.Г., ОФ «Флюид»



**Рис.43. Системы перемешивания сырья для вертикальных реакторов**  
а, б – механическая мешалка; в, г – с помощью насоса;  
д – биогазом и жидкостью; е – биогазом.

### Гидравлическое перемешивание

С помощью насоса можно полностью перемешивать сырье при одновременной загрузке и выгрузке сырья. Такие насосы часто располагаются в центре реактора для выполнения дополнительных функций.

### Пневматическое перемешивание

Пневматическое перемешивание путем инъекции выделяющегося биогаза обратно в реактор осуществляется с помощью монтажа на дне реактора системы трубопроводов и обеспечивает мягкое перемешивание сырья. Главная проблема таких систем заключается в проникновении сырья в газовую систему. Это можно предотвратить, установив систему клапанов.

Перемешивание путем пропускания биогаза через толщу сырья дает хорошие результаты только в том случае, если сбразиваемая масса сильно разжижена и не образует корки на свободной поверхности. В противном случае следует постоянно удалять всплывающие частицы или отделять крупные частицы перед загрузкой в реактор.

### Частота перемешивания сырья

Перемешивание может быть постоянным или периодическим в зависимости от режима работы реактора. Оптимальный режим перемешивания значительно уменьшает время сбразивания сырья и предотвращает образование корки.

Хотя частичное перемешивание случается за счет высвобождения из сырья биогаза, за счет температурного движения и движения за счет поступления свежего сырья, такого перемешивания недостаточно.

Перемешивание должно производиться регулярно. Слишком редкое перемешивание сырья приведет к расслоению сырьевой массы и образованию корки, снижая, тем самым, эффективность газообразования.

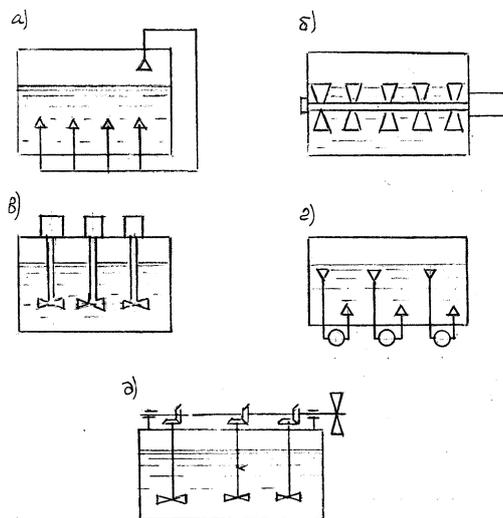
Хорошо перемешиваемое сырье может дать на 50% больше биогаза.

Слишком частое перемешивание может повредить ферментационным процессам внутри реактора - у бактерий нет времени «поесть». К тому же, это может привести к выгрузке не полностью переработанного сырья. Идеальным является осторожное, но интенсивное перемешивание продолжительностью 0,5 минут каждые 4 – 6 часов.

### Системы подогрева сырья

Многие биогазовые установки маленького масштаба в Кыргызстане были построены без систем подогрева и без теплоизоляции.

Отсутствие системы подогрева позволит установке работать только в психрофильном режиме, и позволит получать меньшее количество биогаза и биоудобрения, чем в мезофильном и термофильном режимах. Для обеспечения более высокого производства биогаза и биоудобрений, а также лучшего обеззараживания сырья используются два метода подогрева: **прямой подогрев** в форме пара или смешивающейся с сырьем горячей воды и **непрямой подогрев** через теплообменник, где подогревающий материал, обычно горячая вода, подогревает сырье, не смешиваясь с ним.



**Рис.44. Устройства перемешивания сырья для горизонтальных реакторов**  
а – биогазом; б – механическими лопастями;  
в – механическими мешалками с электродвигателями;  
г – с помощью насоса; д – механическими мешалками от ветряного двигателя.



**Рис.45. Система подогрева и пневматического перемешивания сырья в реакторе**

Фото: Веденев А.Г., ОФ «Флюид»

### **Прямой подогрев**

Прямой подогрев паром имеет серьезный недостаток - установка нуждается в парогенерирующей системе, включающей очистку воды от солей, и при применении подогрева паром может случиться перегрев сырья. Высокая стоимость такой системы обогрева делают ее экономически выгодной только при использовании в больших установках, перерабатывающих сточные воды. Добавление горячей воды повышает влажность субстрата и должно использоваться только там, где это необходимо.

### **Непрямой подогрев**

Непрямой подогрев осуществляется теплообменниками, расположенными внутри или снаружи реактора, в зависимости от формы реактора, типа сырья и способа эксплуатации установки.

**Подогрев пола** не показал хороших результатов, так как скапливающийся на дне реактора осадок затрудняет подогрев сырья. **Внутренний подогрев** является хорошим решением, если теплообменник достаточно прочен, чтобы не сломаться при движении сырья в реакторе. Чем больше площадь теплообменника, тем более однородно подогревается сырье и лучше протекает процесс ферментации. **Внешний подогрев** с помощью теплообменника с теплопроводящими элементами на поверхности стен реактора биогазовой установки менее эффективен из-за потерь тепла с поверхности стен. С другой стороны, вся стена реактора может быть использована для подогрева и внутри реактора ничто не препятствует движению сырья. **Промежуточный подогрев** сырья осуществляется обычно в бункере загрузки и обеспечивает преимущества более легкого доступа для очистки и ремонта реактора.



**Рис.46. Устройство для непрямого подогрева сырья**

### **Внутренние и внешние системы подогрева**

Для достижения максимальной эффективности образования биогаза, анаэробная переработка нуждается в определенных температурных условиях окружающей среды, предпочтительно близких для достижения оптимума процесса. В Кыргызстане, система подогрева и изоляция реактора необходимы для достижения нужной температуры процесса и предотвращения потерь энергии. Для подогрева реактора до мезофильной температуры с помощью электричества в среднем необходимо 330 Вт на 1 м<sup>3</sup> объема реактора.

Наиболее распространенной системой подогрева сырья является **внешняя система** подогрева с водонагревательным котлом, работающим на биогазе, электричестве или твердом топливе. Также можно использовать солнечные водонагреватели. В качестве нагревательных элементов применяют теплообменники в виде змеевиков, секций радиаторов, параллельно сваренных труб, где теплоносителем служит горячая вода с температурой около 60°C.

Более высокая температура повышает риск налипания взвешенных частиц на поверхности теплообменника. Теплообменники рекомендуется располагать в зоне действия перемешивающего устройства, что помогает избежать осаждения твердых частиц на их поверхности.

### **Монтаж системы обогрева**

При монтаже системы обогрева важно обеспечить условия, необходимые для естественного движения жидкости в этой системе. Для этой цели нужно обеспечить подачу горячей воды в верхнюю точку системы и возврат охлажденной воды в нижнюю точку.

На трубопроводах отопления должны быть установлены вентили для выпуска воздуха из верхних точек, а система обогрева должна быть оборудована расширительным бачком для изменения объема воды. Для контроля температуры внутри реактора биогазовой установки должен быть установлен термометр.



**Рис.47. Водонагревательный котел системы обогрева реактора с керамическими излучателями**

*Фото: Веденев А.Г., ОФ «Флюид»*

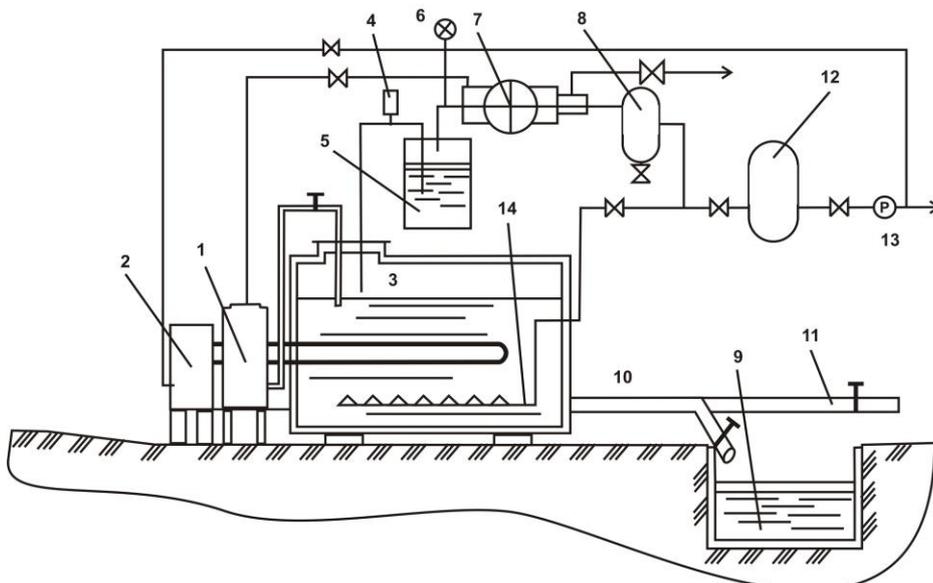
## Типы установок, рекомендуемых для внедрения в СНГ

С учетом климатических и других условий в Кыргызстане и странах СНГ рекомендуется внедрять следующие типы биогазовых установок.

### **Биогазовая установка с газгольдером, ручной подготовкой и пневматической загрузкой и перемешиванием сырья, с подогревом сырья в реакторе**

Установка (Рис.48) предназначена для мелких фермерских хозяйств с возможностью переработки около 0,3 тонн сырья в сутки. Объемы реакторов – до 10 м<sup>3</sup>.

Подготовка, загрузка и перемешивание сырья механизированы и производятся с помощью пневматической системы. Подогрев сырья в реакторе биогазовой установки производится с помощью теплообменника с водонагревательным котлом, работающим на биогазе. Трубопровод выгрузки сырья имеет разветвление для сбора биоудобрений в хранилище и для загрузки в транспортные средства для вывоза на поле.



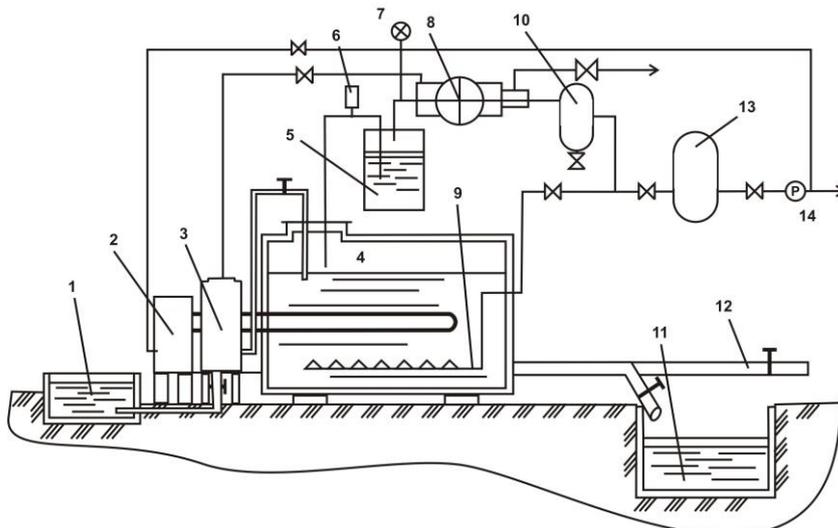
**Рис.48. Схема фермерской биогазовой установки с газгольдером, ручной подготовкой и пневматической загрузкой и перемешиванием сырья, с подогревом сырья в реакторе**

1 – бункер загрузки сырья; 2 – водонагревательный котел; 3 – реактор; 4 – предохранительный клапан; 5 – водяной затвор; 6 – манометр электроконтактный; 7 – компрессор; 8 – ресивер; 9 – хранилище для биоудобрений; 10 – выгрузка сырья; 11 – отвод трубы для загрузки в транспорт; 12 – газгольдер; 13 – редуктор газовый, далее газ идет на потребление; 14 – перемешивающее устройство.

Устройство этой биогазовой установки (Рис. 47) предусматривает ручную подготовку и пневматическую загрузку сырья в реактор, часть вырабатываемого биогаза используется для подогрева сырья в реакторе. Перемешивание производится биогазом. Отбор биогаза производится автоматически. Биогаз хранится в газгольдере. Установка может работать в любом температурном режиме сбраживания сырья.

### **Биогазовая установка с газгольдером, механической подготовкой, пневматической загрузкой и перемешиванием сырья, с подогревом сырья в реакторе**

Отличительной особенностью этой биогазовой установки (Рис. 49), предназначенной для средних и крупных крестьянских хозяйств, является наличие специальной емкости для подготовки сырья, откуда оно подается при помощи компрессора в бункер загрузки, а затем с помощью сжатого биогаза – в реактор установки.



**Рис 49. Схема фермерской биогазовой установки с газгольдером, механической подготовкой, пневматической загрузкой и перемешиванием сырья, с подогревом сырья в реакторе**

1 - Приемник навоза; 2 - Водонагревательный котел; 3 - Бункер загрузки; 4 - Реактор; 5 - Водяной затвор; 6 - Предохранительный клапан; 7 - Манометр электроконтактный; 8 - Компрессор; 9 - Мешалка газовая; 10 - Ресивер; 11 - Хранилище для биоудобрений; 12 - Отвод трубы для загрузки в транспорт; 13 - Газгольдер; 14 - Редуктор газовый, далее газ идет на потребление.

Для работы системы обогрева используется часть вырабатываемого биогаза. Установка снабжена автоматическим отбором биогаза и газгольдером для его хранения. Наличие системы обогрева позволяет эксплуатировать биогазовую установку во всех режимах сбраживания.

**Таблица 11. Спецификация на оборудование и материалы для фермерской биогазовой установки с газгольдером, механической подготовкой, пневматической загрузкой и перемешиванием сырья, с подогревом сырья в реакторе (см. Рис. 47 и 48)**

№	Наименование оборудования и материалов	Количество на установку					
		5м <sup>3</sup>	10м <sup>3</sup>	15м <sup>3</sup>	25м <sup>3</sup>	50м <sup>3</sup>	100м <sup>3</sup>
1.	Реактор	1	1	1	1	1	2
2.	Котел водогрейный	1	1	1	1	1	2
3.	Горелка газовая	1	1	1	1	2	4
4.	Электрический водонагреватель	1	1	1	1	2	4
5.	Влагоотделитель	1	1	1	1	1	1
6.	Бункер-накопитель: емкость 1 – 10 м <sup>3</sup> , бетон, металл Ст 3	1	1	1	1	1	1
7.	Бункер загрузочный: емкость 0,5 - 5 м <sup>3</sup> , металл Ст 3, давл. 5 кгс/см <sup>2</sup>	1	1	1	1	1	1
8.	Компрессор	1	2	2	2	2	2
9.	Ресивер: от 0,05 до 3,0 м <sup>3</sup> , давл. до 10 кгс/см <sup>2</sup>	2	2	2	2	2	2
10.	Газгольдер от 3м <sup>3</sup> и более, давл. До 8 кгс/см <sup>2</sup> (набор)	1	1	1	1	1	1
11.	Насос вакуумный	-	-	-	1	1	1
12.	Система подогрева	1	1	1	1	1	1
13.	Система перемешивания пневматическая	1	1	1	1	1	1
14.	Указатель уровня	2	2	2	2	2	3
15.	Термометр ртутный стеклянный 0-100 <sup>0</sup> С,	2	2	2	2	2	3
16.	Указатель температуры	2	2	2	2	2	3
17.	Манометр электроконтактный 0 - 1кгс/см <sup>2</sup>	1	1	1	1	1	1
18.	Манометр d = 100 мм от -1 до +5 кгс/см <sup>2</sup>	1	1	1	1	1	1
19.	Манометр d = 150 мм от 0 до 1 кгс/см <sup>2</sup>	1	1	1	1	1	2
20.	Манометр d = 100 мм от 0 до 1,0 кгс/см <sup>2</sup>	1	1	1	1	1	1
21.	Манометр d = 100 мм от 0 до 15 кгс/см <sup>2</sup>	3	3	3	3	3	3
22.	Вентиль для воды: d = 25мм	1	1	1	1	1	2
23.	Вентиль газовый d = 15мм	10	10	10	10	12	16
24.	Вентиль газовый d = 25мм	5	6	7	7	4	4
25.	Вентиль газовый d = 32мм	5	5	5	5	6	7
26.	Вентиль газовый d = 40,50мм	-	-	-	-	4	5
27.	Трубы стальные (м) d = 15мм	35	40	45	50	60	100
28.	Трубы стальные (м) d = 25мм	40	45	50	60	20	30
29.	Трубы стальные (м) d = 32мм	4	5	6	7 (24)	60	80
30.	Трубы стальные (м) d = 50мм	5	8	10	10	10	20
31.	Трубы стальные (м) d = 89 мм	30	30	30	40	110	220
32.	Трубы стальные (м) d = 100 мм	18	18	24	30	40	60
33.	Трубы стальные (м) d = 150мм	5	5	5	5	5	5
34.	Задвижка d = 100мм	4	4	5	5	5	7
35.	Задвижка d = 150мм	1	1	1	1	1	1

36.	Фланцы d = 100мм	10	10	12	12	12	16
37.	Фланцы d = 150мм	2	2	2	2	2	2
38.	Крепежные детали (кг): болты, гайки, шайбы м10, м12, м16	6	8	9	12	15	20
39.	Уплотнительные материалы (м <sup>2</sup> ): резина, паронит	2	2	2,5	3	4	5
40.	Отводы Ф-15	12	12	14	16	18	25
41.	Отводы Ф-25	10	10	12	14	16	20
42.	Отводы Ф-32	6	6	6	8	10	12
43.	Отводы Ф-50	10	10	12	12	12	24
44.	Отводы Ф- 89	20	20	20	24	24	44
45.	Отводы Ф-100	4	6	6	8	8	12
46.	Тройник Ф 100	3	3	3	3	3	5
47.	Редуктор газовый	1	1	1	1	1	1
48.	Фильтр для сероводорода	1	1	1	1	1	2
49.	Лист стальной 10-12мм (м <sup>2</sup> )	2	2	2	2	2	4
50.	Лист стальной 4мм (м <sup>2</sup> )	4	4	6	7	8	16
51.	Электроды 3мм (КНР), кг	30	30	35	35	60	90
52.	Предохранительные устройства	1	1	1	1	1	2
53.	Клапан предохранительный	4	4	4	4	4	4
54.	Электрошкаф	1	1	1	1	1	1
55.	Автомат 3-ф 39А, 50 А	1	1	1	1	1	1
56.	Пускатели	1	1	1	1	1	2
57.	Реле тепловое	1	1	1	1	1	2
58.	Реле пусковое	2	2	2	2	2	2
59.	Кнопки: "стоп" красные	2	2	2	2	2	2
60.	Кнопки "пуск" черные	2	2	2	2	2	2
61.	Трансформатор понижающий 380 / 24÷36 В	1	1	1	1	1	1
62.	Клеммник на 24÷30 контактов	1	1	1	1	1	1
63.	Провод электрический (м)	30	40	45	50	70	90
64.	Кислород, пропан	2	2	3	3	5	8

**Таблица 12. Смета на изготовление фермерской биогазовой установки с газгольдером, механической подготовкой, пневматической загрузкой и перемешиванием сырья, с подогревом сырья в реакторе**

Наименование	тыс. сом (1 USD = 48 сом)					
	5м <sup>3</sup>	10м <sup>3</sup>	15м <sup>3</sup>	25м <sup>3</sup>	50м <sup>3</sup>	100м <sup>3</sup>
1. Реактор	20	30	40	60	146	292
2. Газгольдер	30	40	50	80	120	230
3. Компрессор	27	27	30	35	40	80
4. Материалы для обвязки реакторов, газгольдера, подающего, перемешивающего и нагревающего устройств	26	27	30	36	48	52
5. Приемный бункер	18	30	30	30	32	38

6. Устройство для загрузки сырья	16	18	20	20	30	35
7. Устройство для анаэробного перемешивания сырья	8	8	8	8	10	20
8. Нагревающее устройство	14	16	18	34	52	104
9. Влагоотделитель	2	2	2	2	2	2
10. Фильтр сероводородный	7	7	7	7	7	14
11. Редуктор	1	4	6	6	8	12
12. Устройство для контроля уровня, температуры, давления в реакторах	8	8	8	9	10	12
13. Автоматическое откачивающее устройство	8	8	8	8	8	8
14. Предохранительные устройства (уровень бункера подачи, давление в реакторах и газгольдере)	5	5	5	7	7	12
15. Шкаф управления	9	10	12	12	14	17
16. Вспомогательные материалы	10	12	15	15	18	26
17. Итого материалы и оборудование	<b>209</b>	<b>252</b>	<b>289</b>	<b>369</b>	<b>552</b>	<b>954</b>
18. Работа	120	160	200	240	320	380
19. Накладные расходы 15%	50	62	73	91	131	200
20. Налоги и прибыль 10%	38	48	56	70	100	153
НСП 3%	10	13	15	19	28	42
<b>Всего*:</b>	<b>427</b>	<b>535</b>	<b>633</b>	<b>789</b>	<b>1131</b>	<b>1729</b>
<b>Итого* в USD (48 сом/USD):</b>	<b>8896</b>	<b>11146</b>	<b>13188</b>	<b>16438</b>	<b>23563</b>	<b>36021</b>
Перерабатывает сырья, т. в год**	100	250	360	550	1200	2400
Количество биогаза в год, м <sup>3**</sup>	5400	12600	18000	28800	59400	118800
Стоимость биогаза в год (0,2 USD за м <sup>3</sup> )	48.6	113.4	162	259.2	534.6	1069.2
Количество биоудобрений в год, тонн	100	250	360	550	1200	2400
Стоимость биоудобрений в год (6 USD за м <sup>3</sup> )	27	67.5	97.2	148.5	324	648
<b>Выгоды, в год</b>	<b>75.6</b>	<b>180.9</b>	<b>259.2</b>	<b>407.7</b>	<b>858.6</b>	<b>1717.2</b>
<b>Выгоды, в год в USD (48 сом/USD):</b>	<b>1680</b>	<b>4020</b>	<b>5760</b>	<b>9060</b>	<b>19080</b>	<b>38160</b>
Срок окупаемости, лет	5	3	2	2	1	1

\* В данную смету не включены транспортные расходы, налоги и затраты на общестроительные работы.

## Эксплуатация биогазовых установок<sup>21</sup>

Стабильная ежедневная работа биогазовой установки требует высокого уровня дисциплины обслуживающего персонала для получения высоких объемов биогаза и биоудобрений и долгой службы установки. Многие проблемы случаются из-за ошибок в эксплуатации. Часто, такие проблемы могут быть сведены к минимуму путем:

- выбора простой конструкции установки, адаптированной к местным климатическим условиям и имеющемуся сырью;
- использования высококачественных материалов и приборов;
- хорошим обучением персонала и получением консультаций профессионалов по эксплуатации установки.

### Подготовка к запуску

Этап подготовки включает в себя **проверку герметичности** реактора и газовой системы. Для этого к газовой системе подключаются водяной манометр, перекрываются все краны с тем, чтобы избыточное давление воздуха в реакторе можно было измерить манометром.

Для этого, реактор заполняется водой до рабочего уровня. Избыточный воздух будет вытесняться через предохранительный клапан. После этого фиксируют показания манометра и оставляют заполненный водой реактор на сутки. Если по истечении суток показание манометра не изменилось или изменилось незначительно, то можно считать, что газовая система и реактор обладают достаточной герметичностью. При потере давления в реакторе и газовой системе необходимо отыскать и устранить течь.

Работы по пуску биогазовой установки могут быть начаты только тогда, когда установка в целом и ее элементы будут признаны пригодными к эксплуатации и соответствовать требованиям безопасной эксплуатации.



**Рис.50. Проверка герметичности газгольдера**  
Фото: Момунов К., JICA в КР

### Этап ввода в эксплуатацию

Первоначальная загрузка новой биогазовой установки должна, если возможно, состоять из отработанного сырья из другой установки (около 10%) или свежего навоза крупного рогатого скота, так как для успешной работы требуются штаммы метанообразующих микроорганизмов, большое количество которых содержится в свежем навозе крупного рогатого скота.

Возраст и количество начальной порции сырья имеют сильное влияние на весь курс ферментации. Рекомендуется позаботиться о достаточном количестве сырья еще до окончания строительства установки. При первой загрузке можно разбавить недостаточное количество сырья большим количеством воды, чем обычно, для заполнения реактора на 2/3 объема.

### Типы сырья

В зависимости от типа используемого сырья, может потребоваться от нескольких дней до нескольких недель для выхода биогазовой установки на стабильный уровень работы. После разбавления сырья до получения однородной массы нужной влажности, его загружают в реактор, который заполняется **не более, чем на 2/3 внутреннего объема**. Оставшийся объем реактора используется для накопления биогаза.

Загружаемое в реактор сырье не должно быть холодным - его температура должна приближаться к выбранной оптимальной температуре сбраживания.

### Оптимизация ввода в эксплуатацию

Для оптимизации процесса сбраживания могут быть использованы некоторые известные методы пуска:

- введение в реактор активной закваски от нормально действующего реактора;
- добавление реагентов таких, как известь, углекислый газ, щелочь и другие;
- заполнение реактора теплой водой и постепенное добавление в нее навозных стоков;

- заполнение реактора свежими навозными стоками;
- заполнение реактора горячими газами и постепенная загрузка навозных стоков.

Для обеспечения устойчивого роста микроорганизмов в пусковой период, нагрев загруженного сырья должен постепенно увеличиваться, не более, чем на 2°C в сутки с доведением до 35-37°C. В процессе нагрева должно быть обеспечено интенсивное перемешивание сырья. Через 7-8 суток начинается активная жизнедеятельность микроорганизмов в реакторе и выделение биогаза.

### **Характеристики этапа ввода в эксплуатацию**

Период ввода биогазовой установки в рабочий режим эксплуатации, называется пуско-наладочным периодом, и характеризуется:

- низким качеством биогаза, содержащим около 60% углекислого газа;
- сильным запахом биогаза;
- падающим уровнем pH;
- непостоянным выходом газа.

### **Стабилизация процесса**

Переход к рабочему режиму эксплуатации происходит быстрее, если сырье часто и интенсивно перемешивается. Если в процессе пуско-наладки стабилизация процесса сбраживания задерживается, нужно добавить в реактор небольшое количество навоза КРС для восстановления баланса pH. Сразу после стабилизации процесса сбраживания, большой объем несброженного сырья будет производить большое количество биогаза. После того, как уровень производимого биогаза упадет до ожидаемого, можно начинать регулярную загрузку сырья.

### **Подготовка газгольдера**

Подготовку газгольдера для заполнения газом в составе модуля можно производить только после приемки и испытания в соответствии с техническими условиями и после освидетельствования органами Госгортехнадзора.

Во избежание образования взрывоопасной смеси до заполнения газгольдера газом необходимо, чтобы изо всей системы, в том числе и из газопроводов, был вытеснен воздух. Вытеснение воздуха производится водой с последующим вытеснением воды газом под давлением или негорючими газами. Вытеснение воздуха считается законченным, если содержание кислорода в пробе газа, взятой из газгольдера не превышает 5 %.

Наружным осмотром должно быть проверено состояние контрольно-измерительных приборов, входящих в состав газгольдера (обратный и предохранительный клапаны, манометр, редуктор давления). Надежность заземления и молние-защиты газгольдера проверяется с помощью измерителя заземления. Сопротивление заземления не должно превышать 4 Ом.

### **Качество газа**

В период выхода биогазовой установки на рабочий режим эксплуатации, качество биогаза будет невысоким. По этой причине, а также для предотвращения взрывоопасной ситуации, связанной с остаточным кислородом, содержащимся в газгольдерах, первые два суточных объема биогаза должны быть выпущены в воздух. Как только биогаз станет воспламеняемым, он может быть использован для планировавшихся целей.

## **Ежедневные операции**

### **Доза загрузки сырья**

Для оптимальной эксплуатации биогазовых установок большое значение имеет суточная доза загрузки свежего навоза и периодичность ее внесения. Доза загрузки - величина непостоянная и зависит от вида сырья, температуры сбраживания и концентрации сухого вещества в сырье.

При малых дозах суточной загрузки сырья, не превышающих 1-5 % объема реактора в сутки, биогаза выделяется меньше, чем при больших дозах в 10-20%. Однако при больших дозах ежесуточной загрузки, содержание метана в биогазе сокращается, а содержание углекислого газа – увеличивается.

Оптимальной дозой суточной загрузки для установок с **мезофильной температурой** брожения с точки зрения качества биогаза можно считать **6-10%** от полного объема загружаемого сырья при продолжительности сбраживания **10 – 20 суток**. Оптимальной дозой загрузки для **термофильного режима** можно считать **15-25%** при продолжительности брожения от **4 до 8 суток**. При использовании **психофильного режима** сбраживания, рекомендуется загружать не более 2% при ежесуточном добавлении нового сырья. Если используется метод порционной загрузки, то реактор загружается сразу на 2/3 и сырье перерабатывается без добавления свежего навоза в течение 40 и более дней.

### **Частота загрузки и перемешивания**

Суточная доза должна вноситься в реактор не целиком, а постепенно равными порциями через одинаковые промежутки времени **4-6 раз в сутки**. После загрузки очередной порции рекомендуется осуществлять перемешивание сырья. Состояние и работа перемешивающих устройств должна проверяться ежедневно.

### **Контроль процесса сбраживания по цвету сброженной массы**

О том, как протекает процесс сбраживания сырья в реакторе, можно судить по интенсивности выделения биогаза, а также по цвету сброженной массы на выходе из реактора.

Отсутствие биогаза или его слабое образование свидетельствует о низкой активности микроорганизмов и может быть обнаружено по **серому цвету сброженной массы**. Причиной этого может быть также недостаток микроорганизмов, приводящий к затуханию процесса сбраживания, для возобновления которого требуется введение питательных растворов с хорошей концентрацией микроорганизмов и, следовательно, с потенциалом хорошего газообразования.

При избытке питательных веществ возможно образования кислот и снижение активности микроорганизмов. Цвет сброженного сырья в этом случае изменяется на **черный**, а на его поверхности может образоваться белая пленка. Нейтрализовать кислоты можно введением растительной золы или известковой воды.

Если сброженная масса имеет **темно-коричневый цвет** и при этом на ее поверхности образуется пена, то можно считать что идет нормальный процесс брожения.

### **Контроль уровня сырья**

Особой проблемой маленьких установок является закупорка отверстий реактора. Это может привести к слишком большому давлению внутри реактора и закупорке газовой трубы. Для предотвращения этого необходимо проверять уровень сырья и состояние отверстий установки ежедневно.

### **Контроль работы влагоотделителя**

Необходимо ежедневно сливать конденсат, скапливающийся во влагоотделителе.

## **Еженедельные и ежемесячные операции**

- Контроль водяных затворов;
- Обновление газовых фильтров;
- Чистка купола в установках с плавающим куполом;
- Проверка гибких шлангов и труб на появление пор.

## **Ежегодные операции**

- Удаление корки на поверхности сырья и осадка со дна реактора установки;
- Вся установка и газовая система должны быть проверены на герметичность и давление.

## **Техника безопасности**

При эксплуатации биогазовой установки нужно обращать внимание на следующее:

- Вдыхание биогаза в больших количествах в течение долгого времени может вызвать отравление, так как содержащийся в биогазе сероводород очень ядовит. Неочищенный биогаз пахнет тухлыми яйцами, но после очистки не имеет никакого запаха. Поэтому все помещения, где стоят бытовые приборы, использующие биогаз, нужно регулярно проветривать. Газовые трубы должны регулярно проверяться на герметичность и защищаться от повреждений. Обнаружение утечек газа должно производиться с помощью мыльной эмульсии или специальными приборами. Применение открытого огня для обнаружения утечки газа запрещается.
- Биогаз в смеси с воздухом в пропорции от 5% до 15 % при наличии источника воспламенения с температурой 600°C или более могут привести к взрыву. Открытый огонь опасен при концентрациях биогаза в воздухе более 12 %. Таким образом, запрещается курение и разведение огня около установки. При проведении сварочных работ расстояние до газового оборудования должно быть не менее 10 метров. После слива сырья из биогазовых установок для проведения ремонта, реактор должен проветриваться, так как существует опасность взрыва смеси биогаза и воздуха.
- Давление газа, подаваемого по газопроводу к месту потребления, не должно превышать 0,15 МПа (1,5 кгс/см<sup>2</sup>), а перед бытовыми приборами должно быть не более 0,13 кгс/см<sup>2</sup>. Реактор должен быть оснащен задвижками, гидрозатворами, которые в случае необходимости могли бы отключить его от магистрального газопровода биогаза. Реактор должен иметь клапан

автоматического сброса избыточного давления в газовой системе в случае его повышения сверх нормы.

- Используемое электрооборудование должно быть заземлено. Сопротивление заземляющего провода должно быть не более 4,0 Ом.
- Основными источниками санитарной опасности является присутствие в жидком навозе и навозных стоках яиц гельминтов, бактерий групп кишечной палочки и другой патогенной микрофлоры. Поэтому нужно соблюдать предохранительные меры для предотвращения заражения. Так, не рекомендуется принимать пищу в помещении фермы и рядом с биогазовыми установками.
- Реактор и хранилище для биоудобрений должны быть построены так, чтобы избежать опасности падения человека внутрь.

### **Требования Госгортехнадзора**

Устройство, эксплуатация и обслуживание биогазовых установок должны соответствовать требованиям «Правил устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением» Госгортехнадзора Кыргызской Республики, если в состав биогазовых установок входят:

- сосуды, работающие под давлением газа свыше 0,07 МПа (0,7 кгс/см<sup>2</sup>).
- баллоны, предназначенные для транспортировки и хранения сжатых газов под давлением свыше 0,07 МПа (0,7 кгс/см<sup>2</sup>).
- цистерны и бочки для транспортировки и хранения сжатых газов, давление паров которых при температуре до 50°C превышает давление свыше 0,07 МПа (0,7 кгс/см<sup>2</sup>).
- К обслуживанию биогазовых установок и проведению газоопасных работ могут быть допущены лица не моложе 18 лет имеющие разрешение Госгортехнадзора Кыргызской Республики в виде удостоверения установленного образца на право обслуживания биогазовых установок и проведение газоопасных работ.

## **Техническое обслуживание, мониторинг и ремонт**

Техническое обслуживание биогазовой установки состоит из работ, которые необходимы для эффективной и долгой работы установки, а ремонт осуществляется в случае поломок биогазовой установки.

**Таблица 13. Ежедневное техническое обслуживание<sup>8</sup>**

<b>Контролируемый показатель</b>	<b>Распространенные проблемы</b>	<b>Устранение проблемы</b>
<b>Давление газа</b>	Слишком большое давление; (Давление газа возрастает, если использование газа меньше чем производство и если газгольдер полон)	Неполадки в предохранительном клапане – его нужно почистить или заменить;
	Слишком низкое давление; (давление газа падает, если его потребление превышает производство, если есть утечки газа и если газгольдер пуст);	Утечка газа: найти источник утечки и устранить ее; производство биогаза снизилось: проверьте качество сырья;
<b>Температура сырья в реакторе</b>	Слишком высокая температура;	Неполадки в системе подогрева. Проверить и отремонтировать систему;
	Слишком низкая температура;	Неполадки в системе подогрева. Проверить и отремонтировать систему; Наличие осадка или нежелательного слоя на подогреваемой поверхности: очистить нагреваемую поверхность;
<b>Выход биогаза</b>	Выход биогаза ниже обычного;	Причины: температура, состав сырья, изменение уровня кислотно-щелочного баланса, разрыв или трещина в реакторе, засоренные газовые трубы: идентифицируйте причину и устраните ее;
<b>Сильный запах навоза</b>	Установка перегружена или условия сбраживания не оптимальны;	Уменьшить количество загружаемого сырья; откорректировать кислотно-щелочной баланс;

### **Ежемесячное техническое обслуживание**

- Проведите чистку и контроль работы газовых бытовых приборов;
- Смажьте движущиеся части;
- Проведите сервисное обслуживание двигателей;

- Проведите обслуживание клапанов давления;
- Проведите обслуживание системы перемешивания.

**Таблица 14. Контроль арматуры<sup>8</sup>**

Контролируемый элемент	Распространенные проблемы	Устранение проблемы
Водяной затвор	Водяной затвор полон;	Вылить воду;
Система труб	Вода не собирается в водяном затворе; угол установки труб неправильный;	Переустановка труб так, чтобы конденсирующаяся вода стекает в водяной затвор;
Клапаны давления	Не работают	Чистка фильтров или замена фильтров

#### **Ежегодное обслуживание**

- Полная ревизия реактора и всей установки;
- Проверьте металлические части установки на наличие ржавчины, обновите защитное покрытие;
- Проверьте газовые трубы на герметичность под давлением. Часто утечки газа незаметны во время работы установки, так как компенсируются объемом вырабатываемого биогаза.

#### **Мониторинг**

Мониторинг подразумевает сбор данных о работе установки для:

- определения проблем в работе;
- определения реальной экономической выгоды и окупаемости установки;
- сравнения разных типов сырья и методов работы с целью оптимизации.

Должны собираться следующие данные:

- Количество и тип сырья, пропорция воды для разбавления сырья.
- Температура сырья на разных стадиях процесса переработки. При регулярном сборе данных легко определить неполадки в системе подогрева
- Выход биогаза: замеры производятся газометром, находящимся между газгольдером и реактором (производство биогаза) или между прибором и газгольдером (использование биогаза). В простых установках производство газа может быть измерено во время отсутствия потребления газа. Изменения в производстве газа и скорость таких измерений позволяют более точно определить причину проблемы.
- Производство электричества и тепла в больших установках;
- Кислотно-щелочной баланс (ежемесячно);
- Ежедневное загружаемое количество сырья;
- Количество сероводорода в биогазе (ежемесячно);
- Анализ удобряющего эффекта биоудобрения (ежегодно или сезонно) для определения оптимального количества удобрения для внесения на поля.
- Записи поломок и их причины. Такие записи позволяют сравнивать и легче определять причины поломок.

#### **Ремонт**

Поломки, которые могут произойти в работающей биогазовой установке, описаны в нижеприведенной таблице. Наиболее частая причина для беспокойства – снижение производства биогаза.

**Таблица 15. Частые причины поломок и их устранение<sup>8</sup>**

Поломки	Возможные причины	Шаги к устранению
Заблокирована труба загрузки/выгрузки сырья	Волокнистый материал в трубе или плавающий слой сырья блокирует трубу	Прочистить трубу; удалить или разбить плавающий слой сырья
Снижение уровня сырья	Реактор пропускает жидкость	Очистите реактор и ликвидируйте трещину
Недостаточное количество газа	Газгольдер негерметичен из-за трещин или коррозии	Ликвидируйте трещины, замените заржавевшие части;
Заблокированы краны	Коррозия	Закройте и откройте краны несколько раз, смажьте или замените их
Газовая труба негерметична	Коррозия или пористость; недостаточная герметизация	Найдите негерметичные части и замените их, герметизируйте соединения

	соединений;	
Внезапная потеря газа	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. трещина в газовой трубе</li> <li>2. водяной затвор пуст</li> <li>3. открыт газовый кран</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. отремонтируйте или замените трубу</li> <li>2. долейте воды, найдите причину для излишнего давления, проверьте размеры водяного затвора</li> <li>3. закройте кран</li> </ol>
Прыгающее газовое давление	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. вода в газовой трубе</li> <li>2. заблокирована газовая труба</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Проверьте работу водяного затвора, установите водяные затворы в пониженных частях газовой системы или выровняйте положение труб</li> <li>2. Найдите заблокированный участок (начните с биогазовой установки, проверьте соединения и подходы к газовым приборам) и почистите их</li> </ol>

Ремонтные работы выполняются как в случае поломок, так и во время обычной работы установок. Ремонт, выходящий за рамки выше обозначенного, должен проводиться специалистами, так как владелец установки обычно не имеет технического образования. В любом случае, ежегодная проверка установки должна проводиться обученными техническими специалистами.

### **Документация**

Для обеспечения нормальной эксплуатации, технического обслуживания и ремонта на объекте должна быть следующая документация:

1. принципиальные схемы установки газовой и электрической системы, схема планировки;
2. паспорта заводов-изготовителей на сосуды, работающие под давлением;
3. планы и графики проведения технического обслуживания и ремонтов составных частей и приборов;
4. журналы учета работы установок и инструктажа по технике безопасности и проверки знаний обслуживающего персонала «Правил безопасности в газовом хозяйстве».

## Часть 4 – Использование продуктов применения биогазовых технологий

В процессе переработки органических отходов в биогазовых установках получают два основных продукта – биогаз и сброженную биомассу, которые можно использовать в сельском хозяйстве, в промышленности и в быту.

### Использование биогаза

Основным способом применения биогаза является превращение его в источник тепловой, механической и электрической энергии. Однако крупные биогазовые установки можно использовать для создания производств по получению ценных химических продуктов для народного хозяйства.

На биогазе могут работать газосжигающие устройства, вырабатывающие энергию, которая используется для отопления, освещения, снабжения кормоприготовительных цехов, для работы водонагревателей, газовых плит, инфракрасных излучателей и двигателей внутреннего сгорания.

Наиболее простым способом является сжигание биогаза в газовых горелках, так как газ можно подводить к ним из газгольдеров под низким давлением, но более предпочтительно использование биогаза для получения механической и электрической энергии. Это приведет к созданию собственной энергетической базы, обеспечивающей эксплуатационные нужды хозяйств.

Таблица 16. Компоненты биогаза<sup>21</sup>

Характеристики	Компоненты биогаза					Биогазовая смесь (CH <sub>4</sub> – 60%, CO <sub>2</sub> – 40%)
	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	N <sub>2</sub>	
Объемная доля, %	55 – 70	20 – 44	1	1	< 3	100
Объемная теплота сгорания, МДж/м <sup>3</sup>	35,8	-	10,8	22,8	-	21,5
Предел воспламеняемости (содержание в воздухе), %	5 – 15	-	4 – 30	4 – 45	-	5 – 12
Температура воспламенения, °С	+65 +750	-	+585	-	-	+650 +750
Нормальная плотность, г/л	0,72	1,98	0,9	1,54	-	1,2

### Газовые горелки

Основой большинства бытовых приборов, в которых можно использовать биогаз, является горелка. В большинстве случаев, предпочтительны горелки атмосферного типа, работающие на предварительно смешанном с воздухом биогазе. Потребление газа горелками сложно подсчитать заранее, поэтому конструкция и настройка горелок должны определяться для каждого индивидуального случая экспериментально.

По сравнению с другими газами, биогазу нужно меньше воздуха для возгорания. Следовательно, обычные газовые приборы нуждаются в увеличенных жиклерах для прохождения биогаза. Для полного сгорания 1 литра биогаза необходимо около 5,7 литров воздуха, в то время, как для бутана – 30,9 литров и для пропана – 23,8 литров<sup>8</sup>.

Модификация и адаптация стандартных горелок является делом эксперимента. По отношению к наиболее распространенным бытовым приборам, приспособленным для использования бутана и пропана можно отметить, что бутан и пропан обладают теплотворной способностью почти в 3 раза выше, чем биогаз и дают в 2 раза большее пламя.

Перевод горелок на работу на биогазе всегда приводит к более низким уровням работы приборов. Практические меры для модификации горелок включают:

- увеличение жиклеров в 2-4 раза для прохождения газа;



Рис.51. Газовая плита, работающая на биогазе в г. Токмок, КХ «Дары природы»  
Фото: Веденева Т.А., ЦРВИЭЭ

- изменение объема подачи воздуха.

### Газовые плиты

Перед использованием газовой плиты, горелки должны быть тщательно отрегулированы для достижения:

- компактного, голубоватого пламени;
- пламя должно самопроизвольно стабилизироваться, т.е. не горящие участки горелки должны самостоятельно загораться в течение 2-3 секунд.

### Излучающие нагреватели

Излучающие нагреватели используются в сельском хозяйстве для получения нужных температур для выращивания молодняка, например поросят и цыплят в ограниченном пространстве. Необходимая поросьятам температура начинается от 30-35°C в первую неделю и затем медленно падает до температуры 18-23°C в 4 и 5 недели.

Как правило, регулировка температуры состоит в поднятии или опускании обогревателя. Хорошая вентиляция является необходимостью для предотвращения концентрации CO или CO<sub>2</sub>. Следовательно, животные должны находиться под постоянным присмотром, и температура проверяется через регулярные интервалы. Обогреватели для поросят или цыплят потребляют около 0,2 – 0,3 м<sup>3</sup> биогаза в час.

### Тепловое излучение обогревателей

Излучающие нагреватели реализуют инфракрасное тепловое излучение через керамическое тело, которое нагревается до ярко-красного состояния при температурах 900-1000°C пламенем. Обогревающая возможность излучающего обогревателя определяется умножением объема газа на чистую теплотворную способность, так как 95 % энергии биогаза превращается в тепло. Выход тепловой энергии от маленьких нагревателей составляет от 1.5 до 10 кВт тепловой энергии<sup>8</sup>.

### Предохранительные приборы и воздушный фильтр

Использующие биогаз излучающие нагреватели должны всегда быть оборудованы предохранителем, который прекращает подачу газа в случае снижения температуры, то есть в случае, когда газ не сжигается.

### Потребление биогаза

Бытовые газовые горелки потребляют 0,2 – 0,45 м<sup>3</sup> биогаза в час, а промышленные – от 1 до 3 м<sup>3</sup> биогаза в час. Необходимый объем биогаза для приготовления пищи может быть определен на основании времени, ежедневно затрачиваемого на приготовление пищи.



**Рис.52. Водонагревательный котел для бани в с. Петровка**

Фото: Веденева Т.А., ЦРВИЭЭ



**Рис.53. Регулятор давления газа**

Фото: Веденева Т.А., ЦРВИЭЭ

**Таблица 17. Расход биогаза для бытовых нужд**

Горелка	Использование	Использование биогаза, м <sup>3</sup>
Бытовая	Приготовление порции пищи для одного человека	0,15 – 0,3
Бытовая	Кипячение воды	0,03 – 0,05
Бытовая	Отопление помещения на 1 м <sup>2</sup>	0,2 в сутки

## Двигатели, работающие на биогазе

Биогаз можно применять в качестве топлива для автомобильных двигателей, причем эффективность его в этом случае зависит от содержания метана и наличия примесей. На метане могут работать как карбюраторные, так и дизельные двигатели. Однако, так как биогаз является высокооктановым топливом, более эффективно его использование в дизельных двигателях.

Для работы двигателей необходимо большое количество биогаза и установка на двигатели внутреннего сгорания дополнительных устройств, которые позволяют им работать как на бензине, так и на метане.

### Газоэлектрогенераторы

Опыт показывает, что биогаз экономически целесообразно использовать в газоэлектродвигателях, при этом сжигание  $1 \text{ м}^3$  биогаза позволяет вырабатывать от 1,6 до 2,3 кВтч электроэнергии. Эффективность такого использования биогаза повышается за счет использования тепловой энергии, образующейся при охлаждении мотора электрогенератора, для обогрева реактора биогазовой установки.

### Очистка биогаза

Для использования биогаза в качестве топлива для двигателей внутреннего сгорания необходимо предварительная очистка биогаза от **воды, сероводорода и углекислоты.**

### Уменьшение содержания влаги

Биогаз насыщен влагой. Очистка биогаза от влаги состоит в его охлаждении. Это достигается при пропускании биогаза по подземной трубе для конденсации влаги при более низких температурах. Когда газ вновь подогревается, содержание влаги в нем существенно уменьшается. Такое высушивание биогаза особенно полезно для используемых счетчиков сухого газа, так как они со временем обязательно заполняются влагой.

### Уменьшение содержания сероводорода

Сероводород, смешивающийся в биогазе с водой, образует кислоту, вызывающую коррозию металла. Это является серьезным ограничением использования биогаза в водных обогревателях и двигателях.

Наиболее простым и экономичным способом очистки биогаза от сероводорода является сухая очистка в специальном фильтре. В качестве абсорбера применяется металлическая «губка», состоящая из смеси окиси железа и деревянной стружки. С помощью  $0,035 \text{ м}^3$  металлической губки из биогаза можно извлечь 3,7 кг серы. Если содержание сероводорода в биогазе составляет 0,2%, то этим объемом металлической губки можно очистить от сероводорода около  $2500 \text{ м}^3$  газа. Для регенерации губки ее необходимо поддержать некоторое время на воздухе.

Минимальная стоимость материалов, простота эксплуатации фильтра и регенерация абсорбера делают этот метод надежным средством защиты газгольдера, компрессоров и двигателей внутреннего сгорания от коррозии, вызванной продолжительным воздействием сероводорода, содержащегося в биогазе. Окись цинка также является эффективным абсорбентом сероводорода, причем это вещество имеет дополнительные преимущества: оно абсорбирует также органические соединения серы (карбонил, меркаптан и т.д.)<sup>18</sup>



**Рис.54. Газоэлектрогенератор в с. Петровка**

Фото: Веденев А.Г., ОФ «Флюид»



**Рис.55. Сероводородный фильтр и абсорбер для отделения углекислоты в с. Петровка**

Фото: Веденев А.Г., ОФ «Флюид»

### Уменьшение содержания углекислоты

Уменьшение содержания углекислоты – сложный и дорогой процесс. В принципе, углекислота может быть отделена путем выпитывания в известковое молоко, но такая практика приводит к образованию больших объемов извести, и не подходит для использования в системах большого объема. Углекислота сама по себе является ценным продуктом, который можно использовать в различных производствах.

### Использование метана

Современные исследования химиков открывают большие возможности использования газа – метана, для производства сажи (красящее вещество и сырье для резиновой промышленности), ацетилена, формальдегида, метилового и этилового спирта, метилена, хлороформа, бензола и других ценных химических продуктов на базе больших биогазовых установок<sup>18</sup>.

### Потребление биогаза двигателями

В с. Петровка Чуйской области КР биогазовая установка Ассоциации «Фермер» объемом 150 м<sup>3</sup> обеспечивает биогазом для бытовых нужд 7 крестьянских хозяйств, работу газогенератора и 2-х автомашин – УАЗа и ЗИЛа. Для работы на биогазе двигатели были дооборудованы специальными устройствами, а автомашины – стальными баллонами для закачки газа.

Средние значения потребления биогаза для производства 1 кВтч электроэнергии двигателями Ассоциации «Фермер», - около 0,6 м<sup>3</sup> в час.



**Рис.56. УАЗ, работающий на биогазе в с. Петровка**

Фото: Веденев А.Г., ОФ «Флюид»

**Таблица 18. Использование биогаза в качестве моторного топлива в с. Петровка**

Двигатель	Использование	Количество баллонов	Использование биогаза, м <sup>3</sup>
УАЗ-469	Автомашина	3 баллона	42 на 100 км
ЗИЛ ММЗ-130	Автомашина	9 баллонов	72 на 100 км
ГАЗ-53	Электростанция	-	20 м <sup>3</sup> в час, мощность 37 кВт

### Эффективность использования биогаза

Эффективность использования биогаза составляет **55%** для газовых плит, **24%** для двигателей внутреннего сгорания. Наиболее эффективный путь использования биогаза – в качестве **комбинации тепла и энергии**, при котором можно достичь **88%** эффективности<sup>8</sup>. Использование биогаза для работы газовых горелок в газовых плитах, отопительных котлах, кормозапарниках и теплицах – лучший вид использования биогаза для фермерских хозяйств Кыргызстана.

### Излишки биогаза

В случае излишка вырабатываемого установкой биогаза, рекомендуется не выбрасывать его в атмосферу – это приведет к неблагоприятному влиянию на климат, а сжигать. Для этого в газораспределительную систему устанавливается факельное устройство, которое должно находиться на безопасном расстоянии от строений.



**Рис.57. Факельная горелка для сжигания излишков биогаза в с. Петровка**

Фото: Веденев А.Г., ОФ «Флюид»

## Использование биоудобрений

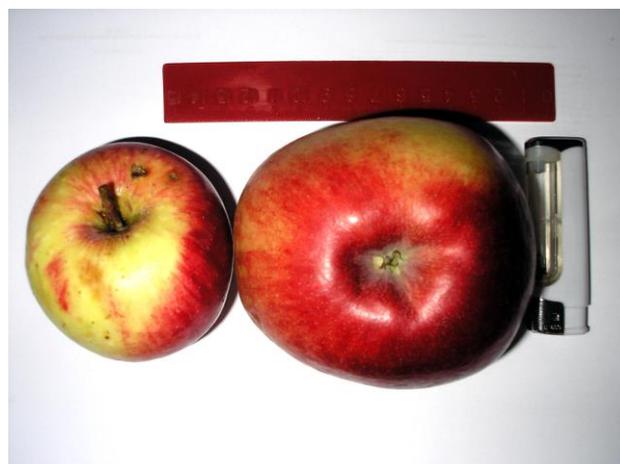
Переработанные в биогазовых установках органические отходы превращаются в биомассу, которая содержит значительное количество питательных веществ и может быть использована в качестве биоудобрения и кормовых добавок.

Образующиеся при сбраживании гумусные материалы улучшают физические свойства почвы, а минеральные вещества служат источником энергии и питанием для деятельности почвенных микроорганизмов, что способствует повышению усвоения питательных веществ растениями.

**Таблица 19. Содержание биоудобрений**

Минеральные вещества	Данные Японии (биоудобрения из навоза КРС)	Данные проекта JICA (биоудобрения из смешанного навоза)
Общий азот	0,27%	0,25 – 1,29%
Фосфор	0,10%	0,58 – 0,84%
Калий	0,30%	3,5 – 11%

Основное преимущество биоудобрений заключается в сохранении в легко усваиваемой форме практически всего азота и других питательных веществ, содержащихся в исходном сырье. Значительным преимуществом биоудобрений перед навозом, перепревшим в естественных условиях, является то, что при сбраживании навоза в биогазовых установках погибает значительная часть яиц гельминтов, патогенных микроорганизмов и семян сорняков, содержащихся в навозе.



**Рис. 58. Воздействие биоудобрения на чеснок и яблоки (слева-без удобрений, справа – с применением биоудобрений)**

*Фото: Веденева Т.А., ЦРВИЭЭ*

### **Органические вещества в удобрениях**

В то время как азот, калий и фосфор могут содержаться в минеральных удобрениях, для других составляющих биоудобрения, получающегося при анаэробном сбраживании навоза в биогазовых установках, таких как протеин, целлюлоза, лигнин и т.д., нет химических заменителей.

Органические вещества являются базой для развития микроорганизмов, отвечающих за переведение питательных веществ в форму, которая легко может быть усвоена растениями. Благодаря декомпозиции и распаду органической части сырья, сброженный биослам в доступной форме предоставляет быстро действующие питательные вещества, которые легко входят в почву, и сразу готовы для поглощения растениями и почвенными микроорганизмами.

### **Гуминовые кислоты<sup>15</sup>**

Важными органическими веществами, присутствующими в биоудобрениях, являются гуминовые кислоты. Они повышают сопротивляемость растений неблагоприятным условиям внешней среды: засухе, высоким и низким температурам, токсичным веществам (пестицидов, гербицидов, тяжелых металлов), повышенной радиации. Гуминовые кислоты способствуют ускорению роста и развития растений, сокращению вегетационного периода, более раннему (на 8-10 дней) созреванию и увеличению урожайности сельскохозяйственных культур.

Содержание гуминовых кислот в биоудобрениях составляет от 13% до 28% на сухое вещество, а их концентрация зависит от температуры процесса сбраживания сырья.

### **Улучшение качества почв**

Содержание гуминовых кислот в биоудобрении особо важно для низкогуминовых почв Кыргызстана. Применение биоудобрений приводит к быстрой гумификации растительных остатков в

почвах, помогает уменьшить уровень эрозии за счет формирования стабильного гумуса и увеличивают содержание питательных веществ, улучшает гигроскопичность, увеличивает амортизирующие и регенерирующие качества почв. Также замечено, что активность дождевых червей при применении биоудобрений, по сравнению с применением простого навоза, увеличивается<sup>6</sup>.

Применение биоудобрений на щелочных почвах приводит к нейтрализации почвы и повышению ее влажности, что особенно важно для засушливых областей Кыргызстана<sup>17</sup>.

### **Борьба с вредителями и болезнями растений (32)**

Внесение биоудобрений может эффективно бороться с колорадским жуком на картофеле, как показали эксперименты 2012 года в Иссык-Кульской области КР. Эксперименты в Непале показывают схожий эффект при борьбе с красными паучками и тлей, которые атакуют овощи, пшеницу и хлопок. Обрызгивание биоудобрениями с добавлением 15-20% пестицидов показало эквивалентный результат, как и при использовании 100% пестицидов. На ячмене были замечены результаты успешной борьбы с вирусом желтой мозаики, наносящим большие убытки сельскому хозяйству Непала.



**Рис. 59. Воздействие биоудобрения колорадского жука (слева-без удобрений, справа – с применением биоудобрений)**

*Фото: Веденева Т.А., ЦРВИЭ*

## **Эффективность воздействия биоудобрений на растения**

Эффективность биоудобрения изучалась как стимулятор энергии прорастания, всхожести семян и развития корневой системы и стеблей при различных концентрациях и сроках внесения учеными и практиками.

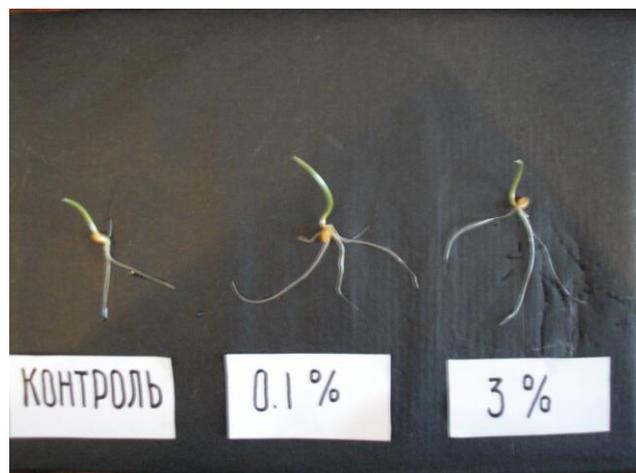
### **Пшеница**

#### **Лабораторные испытания<sup>15</sup>**

Добавка гуминовых кислот, выделенных из биоудобрения, в среду для прорастания семян пшеницы показала, что они стимулируют удлинение корней и стеблей зерен пшеницы сортов «Лада», «Интенсивная» и «Безостая», наибольший положительный эффект был получен при использовании 1% и 0,01% растворов.

При проведении опытов по исследованию воздействия биоудобрения на энергию прорастания, всхожесть семян и развитие стеблей и корней пшеницы при различных концентрациях внесения двух видов биоудобрения в Научно-исследовательском институте земледелия (НИИЗ), были получены следующие результаты:

- Обработка семян пшеницы при всех концентрациях биоудобрений оказывается эффективной. Всхожесть семян увеличивается при концентрациях 0,01, 1, 3 и 6% раствора до 99%. Прирост корней увеличивается на величину до двух раз превышающую контрольные семена.



**Рис.60. Воздействие биоудобрения на зерна пшеницы сорта «Интенсивная»**

*Опыт: Абасов В.С. КНИИЗ, Фото: Веденева Т., ОФ «Флюид»*

- Прорастание семян произошло уже на вторые сутки проведения опыта, на 5 сутки опыта семена пшеницы развили мощную корневую систему (см. Рис. 59).
- Биоудобрение, полученное в результате сбраживания с регулярным добавлением свежего сырья лучше влияет на всхожесть, развитие стеблей и корней пшеницы. Таким образом, рекомендуется переработка сырья в непрерывном режиме.

### **Полевые испытания и практические результаты**

Полевые опыты для определения влияния биоудобрений на урожайность пшеницы были проведены на территории тепличного хозяйства Кыргызского НИИЗ с сортом пшеницы «Джамин» на участке площадью 12 м<sup>2</sup>. Удобрения вносились под предпосевную обработку почвы и в подкормку.

Обработка почвы, посев и уход за растениями проводились согласно агротехническим рекомендациям, полива не производилось. При внесении биоудобрений в количестве 400 литров на га было получено на 5,3 центнера с гектара больше, а при внесении 800 литров на га – на 2,2 центнера с гектара больше урожая, чем без применения биоудобрения (21,6 ц/га)<sup>15</sup>.

Фермерское хозяйство «Бакыт» Сокулукского района Чуйской области получило в 2004 году 60 центнеров пшеницы сорта «Кыял» с гектара на участке 12 га, используя биоудобрения, разбавленные в пропорции 1:50 – в количестве 5 тонн на га.

В 2004 году Ассоциация «Фермер» приняла решение взять в аренду неблагоприятный участок земли с целью продемонстрировать эффективность биослама в качестве удобрения. На участке бедной и каменистой почвы размером 14 га, заброшенном по причине низкой урожайности (7-10 центнеров с га), были получены хорошие результаты – 35 центнеров пшеницы сорта «Половчанка» с гектара. Аналогичные результаты были получены и на другом участке размером 6 га – собрано 32,5 центнера пшеницы сорта «Интенсивная» с каждого гектара неурожайной почвы. Удобрения вносились в предпахотный период в количестве 3 тонны на гектар и при поливе в количестве 5 тонн на гектар.



**Рис.61. Воздействие биоудобрения на зерна пшеницы сорта «Половчанка»**

Фото: Веденев А.Г., ОФ «Флюид»

### **Кукуруза**

Использование биоудобрения при выращивании овощных культур и **кукурузы** на силос показали, что при подкорневом внесении необходимо разбавлять биоудобрение водой в отношении 1 : 20, 1 : 40, 1 : 50, в зависимости от содержания в удобрении гуминовых кислот. Опыты, проведенные Латвийской сельскохозяйственной академией показали увеличение урожайности кукурузы на 49%.



Контрольный участок



Опытный участок

**Рис.62. Воздействие биоудобрения на кукурузу**

Фото: Веденев А.Г., ОФ «Флюид»

При единовременном предпахотном внесении биоудобрений в количестве 4 тонны на га, Ассоциацией «Фермер» было зарегистрировано увеличение урожайности кукурузы на силос в 1,8 раз.

### **Помидоры, картофель и другие клубневые овощи**

При применении биоудобрения урожайность помидор и картофеля повысилась на 15 – 27% по сравнению с контрольным вариантом. По свидетельству фермеров, пользующихся биоудобрениями, вегетационный период картофеля, обработанного перед посадкой жидким удобрением, сокращается примерно на 2 недели. При этом урожайность увеличивается в 1,5 - 2 раза.

Латвийской сельскохозяйственной академией проводились опыты на картофеле, показавшие увеличение урожайности на 11-35% при применении биоудобрения.

Опыты, проведенные исследователями на разных видах овощных культур показывают, что наиболее заметный эффект от применения биоудобрений проявляется на клубневых овощах (редис, морковь, картофель и т.д.) и на фруктовых деревьях.



Рис.63. Результаты экспериментов на картофеле, КНАУ, 2012<sup>29</sup>

Таблица 20. Влияние биоудобрения на урожайность и качественные показатели картофеля

№	Варианты	Урожайность картофеля, т/га	Сухое вещество, %	Крахмал, %
1.	Контроль (без удобрений)	25,6	21,5	14,3
2.	Стандарт N <sub>100</sub> P <sub>120</sub> K <sub>90</sub>	30,6 (+19,5%)	21,0 (-2,4%)	13,9 (-2,8%)
3.	Метановый эффлюент, 16т/га	30,3 (+18,4%)	22,2 (+3,2%)	15,0 (+4,9%)
4.	Метановый эффлюент 8т/га+N <sub>50</sub> P <sub>60</sub> K <sub>45</sub>	34,15 (+33,4%)	22,3 (+3,7%)	15,2 (+6,3%)

Недавние эксперименты по применению биоудобрения, проведенные Кыргызским Аграрным Университетом при поддержке Японского агентства международного сотрудничества (JICA) при внесении дозы биоудобрения, сопоставимой со стандартом N100P120K90, в соответствии с нормой N и составила 16 т/га в трехкратной повторности, дали следующие результаты:

Анализ урожая картофеля показал, что по отношению к урожайности с применением минеральных удобрений, урожайность при внесении биоудобрения увеличивалась в среднем на 18,4%, при внесении минеральных удобрений – в среднем на 19,5% - ненамного лучший результат.

Однако содержание крахмала и сухого вещества при внесении биоудобрения составило 15% и 22%, что выше контрольных показателей на 4,9% и 3,2% соответственно, в то время как внесение минеральных удобрений понижало качественные показатели картофеля до уровня ниже, чем контрольный – минус 2,8% и минус 2,4% соответственно. Лучшие показатели были получены при внесении половинных доз минеральных и биоудобрений.



Рис.64. Воздействие биоудобрения на помидоры

Фото: Веденев А.Г., ОФ «Флюид»

## Ячмень

Исследования влияния биоудобрений на энергию прорастания, всхожесть семян, развития стеблей и корней ячменя при различных концентрациях биоудобрений изучалось в лабораторных опытах в Кыргызском Научно-исследовательском институте земледелия.

Применение растворов 0,01%, 0,1%, 1%, 3%, 6% концентрации незначительно влияют на всхожесть семян ячменя, но прирост корней почти при всех концентрациях биоудобрения увеличивается, особенно при 3 – 6% концентрациях раствора, а концентрация раствора 0,1% – дает значительный прирост стеблей (см. Рис. 69)<sup>15</sup>.

В 2012 году ОФ «Флюид» проводил исследования эффективности применения биоудобрений на различных сельскохозяйственных культурах при поддержке ИСА в КР. В рамках данного исследования в с. Григорьевка Иссык-Кульской области КР, на овсе и ячмене было получено увеличение урожайности с 15 до 45 центнеров с гектара, а в с. Теплоключенка на установке, построенной в рамках проекта Европейской Комиссии, было получено увеличение урожая ярового ячменя с 38 до 52 центнеров с гектара при применении биоудобрений, в с. Новопокровке КХ «Новый путь» было получено увеличение урожая ячменя с 20-25 до 48 центнеров с гектара.



**Рис.65. Воздействие биоудобрения на зерна ячменя сорта «Нарын-27»**

Опыт: Абасов В.С. КНИИЗ, Фото: Веденева Т., ОФ «Флюид»



**Рис.66. Сравнение роста ячменя без применения удобрений и с применением биоудобрений, с. Теплоключенка**

Фото: Веденева Т.А., ЦРВИЭЭ

## Сахарная свекла

Полевые опыты для определения влияния биоудобрений на урожайность сахарной свеклы были проведены на территории тепличного хозяйства Кыргызского НИИЗ с сортом свеклы «К 70» на участке площадью 30 м<sup>2</sup>. Удобрения вносились под предпосевную обработку почвы и в подкормку. Обработка почвы, посев и уход за растениями проводились согласно агротехническим рекомендациям, было проведено 8 поливов. Уборка урожая проводилась вручную, корни взвешивались со всей учетной площади участка.

Прибавка от внесения удобрений колеблется в широких пределах - от 21% (при внесении 800 литров на га) до 33% (при внесении 400 литров биоудобрений на га) и зависит от почвенно-климатических условий, норм, сроков и способов внесения удобрений<sup>15</sup>.

**Таблица 21. Влияние биоудобрения на урожайность и сахаристость сахарной свеклы<sup>30</sup>**

№	Варианты	Урожайность свеклы, т/га	Сахаристость, %
1.	Контроль (без удобрений)	27,2	16,6
2.	Стандарт N <sub>100</sub> P <sub>120</sub> K <sub>90</sub>	48,35 (+77,8%)	16,0 (-3,6%)
3.	Метановый эффлюент, 16т/га	44,99 (+65,4%)	17,8 (+7,2%)
4.	Метановый эффлюент 8т/га+N <sub>50</sub> P <sub>60</sub> K <sub>45</sub>	51,4 (+89%)	18,9 (+13,8%)

Такой же эксперимент был проведен КНАУ, норма внесения удобрений – 16 тонн/га. При применении биоудобрений сбор корнеплодов с гектара достигал 4.99 т/га, в то время как минеральные удобрения позволяют поднять урожай корнеплодов до 48.35 т/га.

Между тем, содержание сахарозы в корнеплодах сахарной свеклы наиболее максимальное при применении биоудобрения - 17.8%, а минеральные удобрения снижают данный показатель до 16%. Лучшие показатели были получены при внесении половинных доз минеральных и биоудобрений.

Кроме того, фермеры Республики ежегодно проводят эксперименты при выращивании сахарной свеклы, которые демонстрируют отличные результаты.

Таким образом, исследования по изучению эффективности биоудобрения показали положительное влияние его на рост и развитие картофеля и сахарной свеклы, способствуя значительному увеличению урожайности этих культур.

### **Соя**

При проведении опытов на эффективность применения биоудобрения для сои в Кыргызском НИИЗ была замечена хорошая реакция сои на 3% раствор биоудобрений, прорастание произошло на 2 сутки проведения эксперимента, на 5 сутки наблюдалось формирование побега.

### **Хлопок**

Полевые исследования влияния биоудобрения на урожайность хлопка в частном хозяйстве Базар - Курганского района Джалал-Абадской области показали, что использование 10% раствора биоудобрений во время посева и при первой культивации из расчета 300 л/га позволяет получать урожай хлопка 30 ц/га. Контрольный участок с использованием навоза показал урожайность в 20-25 ц/га, то есть урожайность хлопка при применении биоудобрений повышается на 20% - 50%<sup>17</sup>.

### **Деревья, кустарниковые растения и травостой<sup>16</sup>**

Проведенные в институте биосферы южного отделения НАН КР полевые исследования показали, что применение биоудобрений для образования корневого системы черенков различных **плодовых, декоративных и других древесно-кустарниковых растений** более эффективно, чем применение традиционного дорогостоящего химического вещества гетероауксин.

Практика в КР показала, что использование биоудобрения для выращивания естественного травостоя на горно-луговых почвах при двух укосах дает увеличение зеленой массы на 21%. В Латвийском совхозе «Огре» применение биоудобрения на травах за 3 укоса показало увеличение урожая в 5 раз, а на культивированных травах за 4 укоса в 1,5 раза.



**Рис.67. Воздействие биоудобрения на кормовую свеклу, с. Петровка**

Фото: Веденева Т.А., ЦРВИЭЭ



**Рис. 68. Воздействие биоудобрения на соевые бобы**

Опыт: Абасов В.С. КНИИЗ, Фото: Веденева Т., ОФ «Флюид»



**Рис.69. Воздействие биоудобрения на люцерну, 2011**

Фото: Веденева Т.А., ЦРВИЭЭ

## Внесение биоудобрений

### Сроки и нормы внесения биоудобрений

Переработанное сырье наиболее эффективно при внесении его на поля незадолго до вегетационного периода. Возможно дополнительное внесение биоудобрений во время роста растений. Необходимые количества и время внесения зависят от конкретного растения. Для соблюдения гигиены, листья растений, употребляемые в пищу, не должны удобряться методом внекорневой подкормки.

Ниже приводятся рекомендации по эффективному использованию биоудобрений<sup>15</sup>.

#### Предпосевное замачивание семян:

Раствор для замачивания – 1:50; семена замачивают до появления ростков.

Зерновые увлажняют перед высевом раствором 1:50.

#### Фруктовые деревья и полив почв:

Используется раствор 1:50 из расчета 4-5 л на 1 м<sup>2</sup> (от 1 до 1,5 тонны удобрения на 1 га). Предпахотная обработка почвы и в зимнее время по снегу из расчета 1-1,5 т на 1 га раствором 1:10.

**Овощные и цветочные рассадные растения:** Полив почвы после посева семян и после появления всходов 1:70. для полива почвы и растений после высадки рассады в грунт с интервалом 10-15 дней из расчета 1:70, 4-5 л на 1 м<sup>2</sup>.

**Земляника и ягодные кустарники:** Первая обработка – полив и опрыскивание – весной по первым листьям, вторая и третья с интервалом 10-15 дней во время полива из расчета раствором 1:50, 4-5 л на 1 м<sup>2</sup>.

**Комнатные растения:** Полив производится в период активного роста 3-4 раза с интервалом 10-15 дней раствором 1:80.



**Рис. 70. Ручное внесение биоудобрений, с. Мопунг, КНДР**

*Фото: Веденева Т.А., ЦРВИЭЭ*

## Кормовая добавка

Биоудобрения используются в мировой практике в качестве активных добавок для повышения эффективности кормов для животных. В процессе анаэробной переработки сырья происходит обеззараживание биоудобрений от всех видов патогенной микрофлоры, особенно при использовании термофильного режима. Более того, переработанная биомасса приобретает новые, положительные с точки зрения кормопроизводства, свойства - в ней повышается концентрация белка, она обогащается витамином В12 и другими полезными веществами.

Промышленное производство белково-витаминных добавок на основе сброженных в биогазовых установках сельскохозяйственных отходов развито в Израиле, на Филиппинах, в Канаде, в США, где средняя стоимость таких добавок составляет 12 долларов за 1 тонну<sup>19</sup>.

### Здоровье животных и состав кормов

Нормальная деятельность организма животных возможна при регулярном поступлении пищи, содержащей питательные вещества: жиры, белки, углеводы, а также минеральные соли, воду и витамины. Питательные вещества являются источником энергии, покрывающим расходы организма и строительным материалом, который используется в процессе роста организма.

**Белки** занимают особое место среди питательных веществ, необходимых животным, так как не могут быть заменены какими-либо другими пищевыми веществами. При недостаточном количестве белков нормальный рост организма приостанавливается. К полноценным белкам относятся преимущественно белки животного происхождения, однако некоторые растения (картофель, бобовые и др.) содержат полноценные белки.

**Витамины** играют роль регуляторов обмена веществ. В настоящее время выделено и изучено более 20 витаминов, необходимых животному организму. Особую роль для животных играет витамин В12. Витаминная недостаточность В-12 может вызвать нарушение роста, ухудшение усвояемости (в особенности белка), анемию («сухотку» у жвачных животных), жесткость волосяного покрова и воспаление кожи. У птицы недостаточное поступление в организм витамина В-12 приводит к повышенной смертности эмбрионов и выплывшихся цыплят. В случае длительного дефицита этого витамина может также ухудшиться яйценоскость.

Таким образом, с точки зрения животноводства, корма должны содержать необходимые основные элементы в усваиваемой животными форме, набор микроэлементов, иметь определенное количество полноценного белка, а также содержать витамины<sup>19</sup>.

### **Необходимость кормовых добавок**

Природные корма часто не отвечают требованиям по содержанию необходимых животным веществ. Растительные корма, как правило, не могут покрыть потребности животных в белке и витаминах. Поэтому, в корма животных добавляют кормовые добавки - рыбную, мясокостную муку, соевый шрот.

### **Биоудобрение как кормовая добавка**

Переработанный на биогазовых установках навоз можно использовать как кормовые добавки, так как он содержит все незаменимые аминокислоты и многие витамины, особенно витамины группы В и обеззараживается в процессе переработки и дальнейшей подготовки. Общее количество аминокислот в 1 кг сухого вещества переработанного анаэробным способом навоза КРС составляет при мезофильном и термофильном режиме переработки соответственно 210 и 240 г/кг. Следовательно, продукт анаэробной переработки экскрементов сельскохозяйственных животных является важным источником белковых кормов<sup>18</sup>.

### **Приготовление кормовой добавки**

Технология получения кормового концентрата разрабатывалась и рекомендована к применению российским Институтом биохимии им. А.Н. Баха, а также украинским НИИ спиртовой промышленности.

Она заключается в переработке навоза в биогазовой установке, отделении от переработанной массы грубых остатков (соломы и т.п.) и обезвоживании осадка биоудобрений. Полученный осадок высушивается при температуре 60 - 70°C и измельчается в муку. При хранении в светонепроницаемой упаковке или таре он сохраняет свои качества в течении длительного времени.

В год от 1 КРС по этой технологии можно получать до 0,3 тонны кормового концентрата, содержащего 30 г чистого витамина В-12. Этим количеством концентрата можно обогатить более 1 000 тонн кормов<sup>19</sup>.

### **Доза кормовой добавки**

По рекомендациям УкрНИИсельхоз, средней нормой обогащения кормов является 10-20 мкг витамина В-12 на 1 кг сухого вещества корма. В целях обеспечения большей надежности рекомендуется добавлять в корм животных по 2,5 грамма сухого витаминного концентрата на килограмм сухого вещества корма<sup>18</sup>.

### **Эффект подкормки животных**

Исследования по использованию продукта анаэробной переработки навоза в качестве белково-витаминных кормовых добавок исследовались в научных учреждениях Латвии, Армении, на Украине и в других зарубежных странах. В исследованиях в совхозе «Огре», Латвия, в рацион бычков добавляли сухой витаминный концентрат из биоудобрений в качестве добавки (10 грамм на килограмм живого веса). Результатом явилось увеличение прироста массы животных до 20%, на 6-14% сократился общий объем потребления животными сухого корма, улучшилось здоровье животных.



**Рис.71. Хранение биоудобрений в лагунах с натуральным покрытием (солома и т.д.), Дания**

Источник: Danish Biogas Association

### **Хранение биоудобрений**

Для сохранения удобряющих качеств переработанного сырья, то есть содержания азота, оно может храниться непродолжительное время в закрытой емкости и затем должно быть внесено на поля. Лучше, если после внесения биоудобрений земля будет вспахана или перекопана. Хранение биоудобрений обычно выполняется в одной из следующих форм:

- Жидкое хранение
- Высушивание

- Компостирование

### **Жидкое хранение**

Выгрузочное отверстие биогазовой системы ведет прямо в емкость для хранения биоудобрения. Потери жидкости за счет испарения или просачивания должны быть предотвращены. Перед внесением удобрения на поля содержимое емкости перемешивают и затем вносят с помощью разбрасывателя или через систему полива. Главное преимущество такого метода в малых потерях азота. С другой стороны, емкость требует больших капиталовложений.

Также при хранении жидкого удобрения возникает необходимость приобретения транспорта для его доставки на поля. Объем работ также зависит от расстояния, на которое необходимо перевозить удобрение.

### **Высушивание**

Высушивание биоудобрения возможно в сухую и жаркую погоду. Главным преимуществом высушенного биоудобрения является уменьшение объема и веса удобрения. Высушенное удобрение можно также распределять вручную. Стоимость строительства мелких емкостей для сушки относительно невелика, но удобрение теряет около 90% неорганического азота, это около 50% от общего содержания азота<sup>8</sup>.

В индустриальных странах переработанное сырье обычно разделяется с помощью сепаратора и фильтров на жидкую и густую части. Жидкая часть затем возвращается обратно в реактор или используется как удобрение, а густая часть высушивается или компостируется.

В качестве простой технологии для разделения жидкой и густой части биоудобрений может быть рекомендовано использование медленных песочных фильтров. Влажная густая масса может быть распределена в неглубокие ямы или просто разложена на поверхности для сушки. В зависимости от климата, иногда нужны большие площади для такого высушивания. Время высушивания и потери питательных веществ можно уменьшить, если смешивать густую массу с сухими веществами. Недостатком всех методов сушки является потеря питательных веществ. Поэтому высушивание рекомендуется только, когда осуществлять перевозку жидких удобрений трудно.

### **Компостирование**

Потери азота могут быть уменьшены при смешивании переработанного сырья с растительными отходами при компостировании. Биоудобрение содержит азот, фосфор и другие полезные вещества и убыстряет процесс перегнивания в компостах. Более того, высокая температура компостирования убивает патогенную микрофлору, которая выдержала пребывание в реакторе. Готовый компост влажный, мягкий и может быть внесен на поля с помощью простых орудий труда. Его легче доставлять на поля.

Сухой растительный материал складывается слоями и поливается переработанным бишламом. Отношение растительного материала к количеству густого эффлюента зависит от содержания сухих веществ в растительном материале и шламе. Главным преимуществом компостирования является сокращение



**Рис.72. Внесение биоудобрений  
С помощью РЖТ**

Фото: Веденев А.Г., ОФ «Флюид»



**Рис.73. Пластина для разбрызгивания  
биоудобрений**

Фото: Веденев А.Г., ОФ «Флюид»

потерь питательных веществ биоудобрениями, по сравнению с высушиванием. Компост, произведенный с помощью добавления биоудобрений очень эффективен и дает долговременные результаты<sup>8</sup>.

## Оборудование для внесения биоудобрений

Технологии внесения биоудобрений варьируются от ручного внесения до больших систем, использующих компьютеры на борту разбрасывателя удобрений. Выбор технологии зависит от количества биоудобрений и площади земли, которая нуждается в удобрении, а также от финансовых возможностей и стоимости труда.

На маленьких фермах развивающихся стран для внесения биоудобрений используются ведра, лейки, контейнеры с лямками, деревянные закрытые тележки, простые тележки и т.д. Наиболее экономичный способ внесения биоудобрений – использование сети каналов или добавление биоудобрений в систему полива. Оба варианта предполагают наличие уклона от места хранения удобрений в 1% для ирригационной системы или 2% для системы канавок.

Использование удобрений лучшим и наиболее нетрудоемким способом является важным параметром планирования. В районах, где топография позволяет внесение удобрений с помощью гравитации, особое внимание должно уделяться правильному расположению биогазовой установки. В равнинных местностях можно рассмотреть поднятие установки и фермы на уровень выше.



**Рис.74. Внесение при помощи тяглового скота, ДНР Корея**

Фото: Веденева Т.А., ЦРВИЭЭ

### **Внесение с помощью разбрасывателя жидких удобрений**

Емкость разбрасывателя заполняется из хранилища и затем транспортируется на поле для распределения удобрений. Удобрение разбрызгивается через отверстия на отражающую пластину, которая благодаря своей специальной форме расширяет охват брызг. Как вариант отражающая пластина может вращаться.



**Рис.75. Внесение через систему движущихся шлангов**

Фото: Веденева Т.А., ЦРВИЭЭ

### **Прямое внесение через систему движущихся шлангов**

Биоудобрение закачивается в распределительную систему, которая питает несколько шлангов, которые двигаются близко к земле. Удобрение вносится прямо на землю, уменьшая потери питательных веществ. Расстояния между шлангами можно регулировать для разных культур.

### **Внесение с помощью дисков**

Земля открывается с помощью 2 дисков в v-образные желоба, в которые по шлангам стекает удобрение. Желобки потом закрываются. Это самый прогрессивный метод внесения биоудобрений с точки зрения сохранения питательных веществ<sup>8</sup>.

## Часть 5 – Экономическая оценка биогазовых технологий

### Цели внедрения биогазовых технологий

Перед строительством индивидуальной биогазовой установки или внедрением биогазовых технологий на государственном уровне необходимо провести экономическую оценку. При оценке экономической выгоды биогазовой программы и индивидуальных установок важно учитывать цели внедрения биогазовых технологий.

Внедрение биогазовых технологий может преследовать следующие цели:

- дешевое производство энергии (индивидуальный и государственный уровень);
- восстановление деградированных земель, увеличение урожайности сельскохозяйственных культур с помощью применения биоудобрения (индивидуальный и государственный уровень);
- улучшение качества сельскохозяйственной продукции – производство экологически чистых продуктов;
- улучшение социальных условий сельского населения (индивидуальный и государственный уровень);
- сохранение лесопосадок и снижение эрозии почв (в основном государственный уровень);
- снижение бедности сельского населения (в основном государственный уровень);
- экономия за счет снижения импорта энергоносителей и удобрений (государственный уровень);
- снижение безработицы в сельских районах (государственный уровень);
- снижение внутренней миграции из сельской местности (государственный уровень).

### Экономическая оценка биогазовой установки

После определения целей внедрения биогазовой установки можно приступить к экономической оценке ее выгоды. Для этого рассмотрим:

- Выгоды для индивидуальных хозяйств
- Стоимость индивидуальной биогазовой установки
- Экономические выгоды от индивидуальной биогазовой установки

### Выгоды для индивидуальных хозяйств

Индивидуальные хозяйства могут оценить выгоды от строительства биогазовой установки на основании денежного дохода, который они получают от использования продуктов переработки отходов по сравнению с затратами на установку.

Следующие эффекты должны переводиться в денежные эквиваленты, и учитываться как выгоды:

- Затраты, сэкономленные за счет замены других источников энергии на биогаз;
- Затраты, сэкономленные на замене минеральных удобрений биоудобрениями;
- Увеличение урожая за счет использования биоудобрений;
- Доходы с продаж биоудобрений;
- Экономия времени на сбор и подготовку ранее использовавшихся источников энергии.

### Денежные эквиваленты индивидуальных выгод

Экономическая оценка индивидуальных выгод от использования биогазовых установок относительно легка, если хозяйство в прошлом покрывало эти нужды за счет покупки удобрений и топлива. Денежные выгоды больших биогазовых установок и больших хозяйств тоже могут быть достаточно точно подсчитаны.

В случае установок малого объема в сельских районах Кыргызстана подсчитать выгоды в денежном эквиваленте сложнее, так как используются в основном традиционные источники энергии и



**Рис.76. Приготовление пищи на биогазе в с. Мопунг, ДНР Корея**

Фото: Веденева Татьяна, ЦРВИЭЭ

удобрений, такие как дрова, кизяк, навоз и сухие растительные отходы. В таких случаях, денежные выгоды подсчитываются за счет экономии на традиционных источниках энергии, а также выручки от продаж биоудобрений и увеличения урожайности.

## Энергия

Главной проблемой экономической оценки является переводение в денежный эквивалент некоммерческих видов энергии, которые не имеют установленной рыночной цены. Но и в этом случае можно установить ценность биогаза и удобрений исходя из сравнительных данных по теплотворной способности разных источников энергии. Для этого нужно подсчитать количество используемых в хозяйстве источников энергии и установить экономию от использования биогаза вместо них.

**Таблица 22. Сравнение биогаза (70% содержания метана) и других энергоносителей<sup>19</sup>**

Топливо	Теплотворная способность единицы топлива, кВтч	Теплотворная способность единицы топлива, МДж	Стоимость единицы топлива, сом	Топлива на 1 м <sup>3</sup> биогаза	Биогаза на единицу топлива
Дизель, Керосин, литры	10	36	19,5	0,69 литра	1,44 м <sup>3</sup>
Бензин, литры	8.5	30	25	0,82 литра	1,28 м <sup>3</sup>
Дрова, кг	4.5	16,2	8	1,5 кг	0,65 м <sup>3</sup>
Сухой кизяк, кг	5	18	0,15	1,4 кг	0,7 м <sup>3</sup>
Сухие растительные остатки, кг	4.5	16,2	-	1,5 кг	0,65 м <sup>3</sup>
Твердый уголь, кг	7,7	27,6	1,8	0,9 кг	1,1 м <sup>3</sup>
Природный газ, м <sup>3</sup>	9,3 кВтч/м <sup>3</sup>	33,5	3,1	0,75 м <sup>3</sup>	1,34 м <sup>3</sup>
Пропан в баллонах, м <sup>3</sup>	12,8 кВтч/м <sup>3</sup>	46	13	0,54 м <sup>3</sup>	1,84 м <sup>3</sup>
Электроэнергия, кВтч	1	3,6	1	6,9 кВтч	0,14 м <sup>3</sup>
<b>Биогаз, м<sup>3</sup></b>	<b>7</b>	<b>25</b>	<b>2,8</b>	<b>1 м<sup>3</sup></b>	<b>1 м<sup>3</sup></b>

**Пример 10:** Семья из 5-6 человек использует в год 12 баллонов пропана (120 кг или 262 м<sup>3</sup> пропана) и 2,5 тонны угля. Тогда для замены их биогазом потребуется  $262 \cdot 1,84 = 482$  м<sup>3</sup> биогаза и  $2500 \cdot 1,1 = 2750$  м<sup>3</sup> биогаза, всего 3232 м<sup>3</sup> биогаза в год, или около 9 м<sup>3</sup> биогаза в сутки.

Как видно из таблицы, при замене пропана на биогаз, в год на покупке баллонов будет сэкономлено 3000 сом. При замене 2,5 тонн угля, стоимостью 1,8 сом за килограмм, на биогаз будет сэкономлено 4500 сом в год. Всего на электроэнергии и угле будет сэкономлено **7500 сом в год**.

## Биоудобрения

Подсчитать экономические выгоды от использования биоудобрений можно путем сравнения затрат и выгод при использовании хозяйством ранее других удобрений, или по выручке средств за продажу биоудобрения.

### Урожайность

Для того, чтобы пахотные и сенокосные земли Кыргызстана давали устойчивые урожаи, необходимо около 400 тыс. тонн различных минеральных удобрений в год. Закупить такие объемы удобрений ни государство, ни, тем более, фермеры Кыргызстана не могут из-за отсутствия

финансовых ресурсов. Например, фактически в республику для обеспечения весеннего полевого сезона 2014 года завезли лишь 86 тыс. тонн, что составляет 43 % от необходимого объема<sup>1</sup>.

Нельзя недооценивать эффект увеличения урожайности от применения биоудобрений. Переработанные в биогазовых установках органические отходы превращаются в биомассу, которая содержит значительное количество питательных веществ. Образующиеся при сбраживании гумусные материалы улучшают физические свойства почвы, а минеральные вещества служат источником энергии и питанием для деятельности почвенных микроорганизмов, что способствует повышению усвоения питательных веществ растениями.

**Таблица 23. Содержание биоудобрений**

Минеральные вещества	Данные Японии (биоудобрения из навоза КРС)	Данные проекта JICA (биоудобрения из смешанного навоза)
Общий азот	0,27%	0,25 – 1,29%
Фосфор	0,10%	0,58 – 0,84%
Калий	0,30%	3,5 – 11%

Основное преимущество биоудобрений заключается в сохранении в легко усваиваемой форме практически всего азота и других питательных веществ, содержащихся в исходном сырье. Значительным преимуществом биоудобрений перед навозом, перепревшим в естественных условиях, является то, что при сбраживании навоза в биогазовых установках погибает значительная часть яиц гельминтов, патогенных микроорганизмов и семян сорняков, содержащихся в навозе.

Различные данные о повышении урожайности после применения биоудобрений, колеблются от 15 до 200%, однако более точный прогноз сложен потому, что на урожайность влияют и многие другие факторы.

В качестве документального примера можно привести недавние эксперименты по применению биоудобрения, проведенные Кыргызским Аграрным Университетом при поддержке Японского агентства международного сотрудничества (JICA) при внесении дозы биоудобрения, сопоставимой со стандартом N100P120K90, в соответствии с нормой N (16 т/га в трехкратной повторности). Анализ урожая картофеля показал, что урожайность при внесении биоудобрения увеличивалась в среднем на 18,4%, при внесении минеральных удобрений – в среднем на 19,5%.

**Таблица 24. Влияние биоудобрения на урожайность и качественные показатели картофеля**

№	Варианты	Урожайность картофеля, т/га	Сухое вещество, %	Крахмал, %
1.	Контроль (без удобрений)	25,6	21,5	14,3
2.	Стандарт N <sub>100</sub> P <sub>120</sub> K <sub>90</sub>	30,6 (+19,5%)	21,0 (-2,4%)	13,9 (-2,8%)
3.	Метановый эффлюент, 16т/га	30,3 (+18,4%)	22,2 (+3,2%)	15,0 (+4,9%)
4.	Метановый эффлюент 8т/га+N <sub>50</sub> P <sub>60</sub> K <sub>45</sub>	34,15 (+33,4%)	22,3 (+3,7%)	15,2 (+6,3%)

Однако содержание крахмала и сухого вещества при внесении биоудобрения составило 15% и 22%, что выше контрольных показателей на 4,9% и 3,2% соответственно, в то время как внесение минеральных удобрений понижало качественные показатели картофеля до уровня ниже, чем контрольный – минус 2,8% и минус 2,4% соответственно.

**Таблица 25. Влияние биоудобрения на урожайность и сахаристость сахарной свеклы<sup>30</sup>**

№	Варианты	Урожайность свеклы, т/га	Сахаристость, %
1.	Контроль (без удобрений)	27,2	16,6
2.	Стандарт N <sub>100</sub> P <sub>120</sub> K <sub>90</sub>	48,35 (+77,8%)	16,0 (-3,6%)
3.	Метановый эффлюент, 16т/га	44,99 (+65,4%)	17,8 (+7,2%)
4.	Метановый эффлюент 8т/га+N <sub>50</sub> P <sub>60</sub> K <sub>45</sub>	51,4 (+89%)	18,9 (+13,8%)

Такой же эксперимент был проведен КНАУ на сахарной свекле. При применении биоудобрений сбор корнеплодов с гектара достигал 44.99 т/га, в то время как минеральные удобрения позволяют поднять урожай корнеплодов до 48.35 т/га. Между тем, содержание сахарозы в

<sup>1</sup>K.News

[http://www.knews.kg/society/49533\\_v\\_kr\\_v\\_etom\\_godu\\_mineralnyie\\_udobreniya\\_oboshlis\\_na\\_4\\_so\\_ma\\_deshevle\\_chem\\_v\\_proshlom/](http://www.knews.kg/society/49533_v_kr_v_etom_godu_mineralnyie_udobreniya_oboshlis_na_4_so_ma_deshevle_chem_v_proshlom/)

корнеплодах сахарной свеклы наиболее максимальное при применении биоудобрения - 17.8%, а минеральные удобрения снижают данный показатель до 16%.

Кроме улучшения урожайности, применение биоудобрений улучшает качество почв. Содержание гуминовых кислот в биоудобрении особо важно для низко-гуминовых почв Кыргызстана. Применение биоудобрений приводит к быстрой гумификации растительных остатков в почвах, помогает уменьшить уровень эрозии за счет формирования стабильного гумуса и увеличивает содержание питательных веществ, улучшает гигроскопичность, увеличивает амортизирующие и регенерирующие качества почв. Также замечено, что активность дождевых червей при применении биоудобрений, по сравнению с применением простого навоза, увеличивается<sup>8</sup>. Применение биоудобрений на щелочных почвах приводит к нейтрализации почвы и повышению ее влажности, что особенно важно для засушливых областей Кыргызстана<sup>17</sup>.

### **Сравнительная стоимость и эффект удобрений**

Биоудобрения не только эффективны, но и дешевы – при применении биоудобрений вместо минеральных удобрений, как видно из таблицы, фермер экономит 1750 сом с гектара удобряемой земли.

**Таблица 26. Сравнение биоудобрений и других удобрений<sup>2</sup>**

Удобрение	Норма внесения	Стоимость, сом/кг	Общая стоимость, сом/га	Пример увеличения урожайности на картофеле, 2014 <sup>3</sup>
Минеральные удобрения (аммиачная селитра 300 кг по 21 сом, хлористый калий 50 кг по 23 сом и аммофос 350 кг по 35 сом) итого 700 кг за 19700 сом	700 кг/га	28	19700	38,5 тонн на га, сухое вещество 19,67% крахмал 13,9%
Перегной навоза	30000 кг/га	0,5	15000	35,8 тонн на га, сухое вещество 20,9% крахмал 15,72%
Биоудобрения	7000 кг/га	2	14000	36,5 тонн на га, сухое вещество 21,7% крахмал 15,95%

Таким образом, сравнительная стоимость биоудобрений получается 383 сома за 1 тонну, урожая, перегной – 418 сом за тонну урожая и минеральных удобрений – 511 сом за тонну урожая картофеля, при этом нужно учитывать, что качество продукта по содержанию сухого вещества и крахмала при применении удобрений является самым высоким.

### **Денежный эквивалент выгод применения биоудобрений**

Выгоды от применения биоудобрений складываются из экономии средств на минеральных удобрениях, используемых ранее и из увеличения урожайности сельскохозяйственных культур. Для подсчета экономической выгоды от применения биоудобрений, возьмем минимальное увеличение урожайности – 15% и продемонстрируем получаемые выгоды.

**Таблица 27. Экономическая выгода минимального увеличения урожайности при применении биоудобрений<sup>4</sup>**

Вид выращиваемых культур	Обычная урожайность, Центнер/га	Стоимость, Сом/центнер	Увеличение урожайности, %	Дополн. урожай Центнер/га	Дополнительный доход от увеличения урожайности, сом/га
Пшеница	23.7	2300	15	3.56	8176.50
Ячмень	21.1	1900	15	3.17	6013.50
Люцерна	56.1	1000	15	8.42	8415.00

<sup>2</sup> Справка Министерства сельского хозяйства и мелиорации КР от 01/04/2015 №01-4/1332

<sup>3</sup> Презентация Загурского А.В. (Кыргызский Аграрный Национальный Университет) По проекту JICA «Содействие распространению органических удобрений в Кыргызской республике», по теме: «Эффективность применения органических удобрений при возделывании картофеля в горных условиях Кыргызстана», Бишкек 2014.

Кукуруза	60.8	1700	15	9.12	15504.00
Свекла	293.4	2500	15	44.01	110025.00
Хлопок	29.3	3700	15	4.40	16261.50
Картофель	163.3	2200	15	24.50	53889.00
Фасоль	17.9	9500	15	2.69	25507.50
Яблоки	48	5000	15	7.20	36000.00

**Пример 11:** Хозяйство выращивает пшеницу на 100 га, используя минеральные удобрения и затрачивая 1970000 сом в год. При использовании покупных биоудобрений хозяйство затратит 1400000 сом, экономя 570000 сом в год. Увеличение урожайности на 15% принесет дополнительный доход, равный 817600 сом в год.

## Стоимость биогазовой установки

Точный расчет стоимости сооружения и эксплуатации биогазовой установки необходим для расчета окупаемости установки, сравнения стоимости альтернативных моделей и сбора информации о предстоящих финансовых затратах.

Производственные показатели, стоимость и годовые выгоды от работы биогазовых установок, производимых ОФ «Флюид» Ассоциации «Фермер» приводится в таблице ниже. Показатели базируются на собственных измерениях и существующей литературе. Нужно понимать, что объем перерабатываемого сырья и выход биогаза зависит от типа и состава сырья, влажности сырья, температурного режима переработки, режима загрузки и перемешивания сырья, времени нахождения сырья в реакторе.

Показатели рассчитаны, исходя из того, что в качестве сырья используется навоз КРС 85% влажности, который перерабатывается в мезофильном режиме (около 37°C), при условии ежедневной загрузки 10% от общего объема сырья в реакторе, и при перемешивании сырья каждые 4 часа.

Так, средняя выработка биогаза с 1 тонны навоза КРС составляет 30 м<sup>3</sup>, скорость переработки зависит от температурного режима.

Использование смешанного навоза, и добавление в сырье зеленых отходов, например, травы, значительно увеличивает объем получаемого биогаза.

Так как на каждой из установок ОФ Флюид стоят газовые счетчики, хозяева имеют возможность учитывать объем выработки и использования газа ежедневно. Например, на одной из последних установок ОФ Флюид в с. Новопокровка, с объемом реакторов 10 м<sup>3</sup>, работающей в термофильном режиме сбраживания (около 52°C), в журнале хозяина отмечается что 27 февраля температура сырья в реакторе составляла 55, °C, было загружено сырье, предварительно подогретого до 30,7°C, количества сырья не записывается, но равняется 0,4 тонны в день.

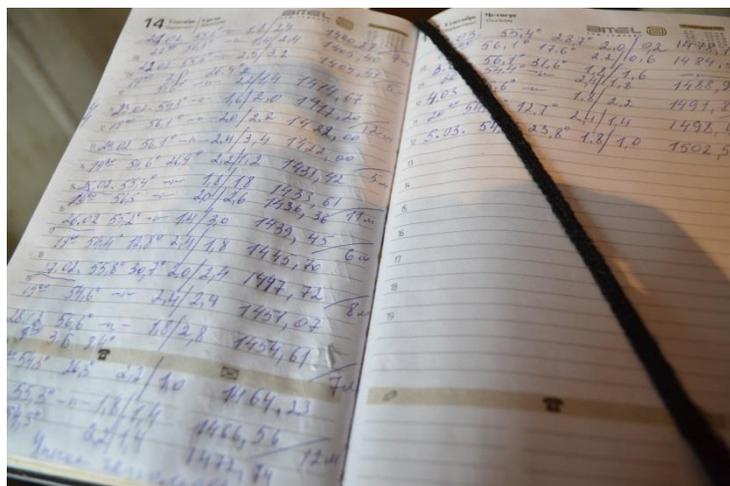
Давление в ресиверах составило 2 и 2,4 атмосферы, показатель выработанного газа на счетчике 1447,72 м<sup>3</sup>, за день использовали 8 м<sup>3</sup> биогаза, что ниже среднего ожидаемого показателя – 12 м<sup>3</sup>, так как температура переработки не соответствует оптимуму термофильного режима - 52°C.

Такие записи затем анализируются и выводятся средние показатели, используемые и обновляемые ОФ Флюид по мере поступления новых данных. При термофильном режиме переработки на 10 м<sup>3</sup> установке вырабатывается 13 м<sup>3</sup> биогаза в день, то есть 32,5 м<sup>3</sup> биогаза с 1 тонны навоза КРС.

Если бы установка работала в мезофильном режиме, то она могла бы перерабатывать только 0,2 тонны в день и получать 6 м<sup>3</sup> биогаза в день.

Несоблюдение температурного режима приведет к значительному снижению выхода биогаза, или к полной остановке процесса переработки вследствие гибели микроорганизмов, вовлеченных в процесс от температурных шоков или отсутствия свежего сырья.

Расчет выгод производился, предполагая работу установки 330 дней в году и 30 дней профилактики для чистки реактора и другого сервисного обслуживания, продажу биоудобрений по



**Рис.77. Журнал показателей биогазовой установки с объемом реактора 10 м<sup>3</sup>, работающей в мезофильном режиме, с. Новопокровка, КХ «Новый путь»**

цене 33,3 USD за тонну и цене биогаза – 0,16 USD (70% от стоимости природного газа, так как в биогазе содержится около 70% метана) за м<sup>3</sup>.

Анализ таблицы показывает, что самые маленькие установки (объем реактора до 5 м<sup>3</sup>) окупаются дольше, а установки с объемами реакторов более 25 м<sup>3</sup> окупаются за 1 год работы. Стоимость оборудования установок ОФ «Флюид» составляет, в среднем, 470 долларов США на 1 м<sup>3</sup> реактора, в то время как стоимость установок европейских фирм доходит до 900 долларов за 1 м<sup>3</sup>, без учета стоимости транспорта и общестроительных работ, которые увеличивают стоимость установок еще на 80%.

**Таблица 28. Показатели фермерских биогазовых установок с газгольдером, механической подготовкой, пневматической загрузкой и перемешиванием сырья, с подогревом сырья в реакторе при работе мезофильном температурном режиме**

Показатели		Объем реакторов						
		5 м <sup>3</sup>	10 м <sup>3</sup>	15 м <sup>3</sup>	25 м <sup>3</sup>	50 м <sup>3</sup>	100 м <sup>3</sup>	250 м <sup>3</sup>
Удобрения	тонн в год	77	154	231	385	770	1540	3850
	тонн в сутки	0.2	0.5	0.7	1.2	2.3	4.7	11.7
Биогаз	м <sup>3</sup> в год	2310	4620	6930	11550	23100	46200	115500
	м <sup>3</sup> в сутки	7	14	21	35	70	128	321
Стоимость БГУ	Долларов США	<b>8900</b>	<b>11200</b>	<b>13200</b>	<b>16500</b>	<b>23500</b>	<b>36000</b>	<b>72000</b>
Стоимость удобрений, в год (33,3 USD /тонна)	Долларов США	2564.1	5128.2	7692.3	12820.5	25641	51282	128205
Стоимость газа, в год (0,16 USD /м <sup>3</sup> )	Долларов США	369.6	739.2	1108.8	1848	3696	7392	18480
Выгоды в год	Долларов США	<b>2933.7</b>	<b>5867.4</b>	<b>8801.1</b>	<b>14668.5</b>	<b>29337</b>	<b>58674</b>	<b>146685</b>
Срок окупаемости	лет	<b>3.0</b>	<b>1.9</b>	<b>1.5</b>	<b>1.1</b>	<b>0.8</b>	<b>0.6</b>	<b>0.5</b>

#### **Категории затрат**

Существуют три главных категории затрат, связанных с внедрением биогазовых установок:

- Стоимость строительства и материалов;
- Стоимость эксплуатации и обслуживания;
- Процентные выплаты, если под строительство биогазовой установки был взят кредит.

#### **Стоимость строительства и материалов**

Стоимость строительства включает все затраты, необходимые для возведения установки, например, стоимость земли, фундамента, подготовки и установки реактора, газовой системы, емкостей для хранения и смешивания сырья и удобрений, газгольдеров и оплату труда рабочих.

Стоимость строительства и материалов определяется следующими факторами:

- Стоимостью покупки или аренды земли для биогазовой установки и емкостей для хранения биогаза и биоудобрений;
- Моделью и размером биогазовой установки;
- Количеством и ценой необходимых материалов;
- Количеством трудодней и заработной платой обслуживающего персонала.

#### **Средняя стоимость**

Для грубого подсчета типичной стоимости простой биогазовой установки можно использовать следующие цифры: общая средняя стоимость установки без стоимости земли составляет 350 - 500 долларов США на м<sup>3</sup> реактора. 35 - 40% общей стоимости составляет металлический реактор.

Стоимость биогазовой установки на единицу объема реактора снижается с увеличением объема реактора. Но при строительстве большой установки для нескольких хозяйств необходимые затраты на газопровод увеличиваются и стоимость установки на единицу объема реактора остается примерно одинаковой. Для условий Кыргызстана больше подходят установки с подогревом и экономически более выгодно строить установки большего размера.

Индивидуальные цены рассчитываются для каждого проекта в отдельности, основываясь на ценах на материалы, наличие материалов и заработную плату.

### **Текущие затраты**

Текущие затраты на эксплуатацию и техническую поддержку установки состоят из и стоимости материалов и работ для:

- приобретения (оплата, сбор и транспортировка) сырья;
- стоимости воды для очистки фермы и разбавления сырья;
- заправки и работы биогазовой установки;
- наблюдения, осмотра и ремонта установки;
- хранения и внесения биоудобрений;
- распределения и использования биогаза;

Текущие затраты не менее важны, чем затраты на строительство установки и обычно составляют не более 4% от начальной стоимости установки в год.

### **Эксплуатационный период установки**

При подсчете амортизации, нужно брать ожидаемый срок эксплуатации установки около 15 лет, при регулярной технической поддержке и ремонте.

## **Макроэкономическая оценка**

Макроэкономический анализ рассматривает программу внедрения биогазовых технологий с точки зрения государственной экономики. Это значит, что государственная экономическая политика должна принимать во внимание эффект внедрения биогазовых технологий на государственную экономику в целом.

### **Экономический эффект биогазовых установок<sup>8</sup>**

При оценке внедрения биогазовых технологий с точки зрения государства в целом нужно учитывать следующие эффекты:

- Переработка отходов на биогазовых установках улучшает санитарные и гигиенические условия жизни населения и уменьшает расходы на здравоохранение. Рассматривая эффект биогазовых технологий на энергетический сектор, нужно учитывать, что производство биогаза создает внешнюю экономию платежного баланса страны путем замены импорта ископаемых источников энергии в Кыргызскую Республику.
    - Использование биоудобрений увеличивает продуктивность сельскохозяйственных земель;
    - Использование биогаза и снижает стоимость производства сельскохозяйственной продукции;
    - Использование биогаза вместо традиционных источников энергии, таких как керосин и дрова, сохраняет экологический баланс и увеличивает собственную выгоду на величину стоимости сохраненных лесопосадок;
    - Цены на энергию, производимую из биогаза, соперничают с ценами на энергию и топливо на рынке и являются стабильными, децентрализованными и независимыми от монополистических цен, существующих на рынке Кыргызстана;
    - Выгоды от децентрализованного производства энергии обеспечиваются улучшением безопасности энергетической системы, уменьшением потерь в энергетической системе, уменьшением затрат на сооружение энергопроводящих путей и коммуникаций;
    - Децентрализованные биогазовые системы в сельской местности увеличивают занятость населения и снижают разницу между доходами разных слоев населения и разных областей страны;
    - Производство биогазовых установок, опирающееся на местные материалы и специалистов увеличивает доходы в государственный бюджет и снижают безработицу;
- На макроэкономическом уровне эти эффекты достаточно значительны и проявляют себя при широком распространении биогазовых технологий.

### **Секторы влияния**

Необходимо учитывать эффект внедрения биогазовых технологий в секторах: энергетики и сельского хозяйства, окружающей среды, здравоохранения, занятости.

## **Энергетика и сельское хозяйство**

### **Энергия**

Многие развивающиеся страны базируют свое энергопотребление на традиционных источниках энергии (древесина, растительные остатки, навоз, животная сила и ручной труд). Уровень использования энергии биомассы широко варьируется - от 5 % в Аргентине до более чем 90 % в таких странах, как Эфиопия, Танзания, Руанда, Судан и Непал.

При увеличении использования биогаза спрос на традиционные источники энергии будет падать. Следовательно, эффект от использования биогаза будет выражен ростом выгод для окружающей среды из-за меньшего количества потребления дров, и сокращением незаконной вырубки лесов.

Замена коммерческих источников энергии, таких как нефть, уголь и природный газ на биогаз воздействует на государственный бюджет. С одной стороны, эффект использования биогаза выражается в замене импорта энергоносителей и снижении платежей за их импорт. С другой стороны, снижается зависимость от импорта нефти, угля и газа, принося относительную стабильность экономике.

Макроэкономические выгоды от биогазовых установок обусловлены их эффективностью и надежностью и уменьшением затрат на инфраструктуру распределения и сети.

### **Потенциал собираемых биомасс, производства биогаза и органических биоудобрений**

Биомассы, собираемые в Кыргызстане, состоят из навоза и помета сельскохозяйственных животных и птицы: КРС, включая коров, свиней и домашней птицы. Навоз коз и овец редко собирается и его потенциал не рассматривается в данном исследовании. По данным Национального статистического комитета<sup>42</sup> в Кыргызстане на 2015 год насчитывается 1.46 млн. голов крупного рогатого скота и лошадей, более 50 тысяч свиней и около 5,42 млн. птицы.

Однако, опыт ОФ Флюид и других исследователей говорит о том, что цифры Нацстата сильно занижены, и можно предполагать, что количество КРС в 2 раза превышает приводимые официальные данные.

Говоря о КРС (крупный рогатый скот), то 51% из них представляют коровы, навоз молочных коров является лучшей базой для сырья биогазовой установки. Количество производимого животным навоза зависит от возраста, веса и типа животного. Однако, навоз на 1 молочную корову в сутки составляет, в среднем, 35 кг; для бычков на откорме этот показатель достигает в среднем 30 кг в день, поэтому значение навоза на голову КРС рассчитано как 32,5 кг в сутки.

Метод содержания скота различается от области к области, но, в основном, КРС содержатся в фермах вне села, днем скот выпасается на близлежащих полях, а ночью возвращается в стойло. Таким образом, около 50% навоза собирается в стойлах. В последние годы появляются фермы с интенсивным стойловым содержанием скота, где навоз может собираться полностью, и даже с мочой. Вес средней молочной коровы составляет 600 кг, и она съедает 6 кг концентрированного корма, 16 кг сена и выпивает 40-50 литров воды в день, вес навоза составляет около 35 кг в день. Вес годовалого бычка составляет 420 кг, он съедает 6 кг концентрированного корма, 12 кг сена и выпивает 40-50 литров воды в день, выход навоза составляет около 30 кг в день.

В Нарынской области, где выращивается 10% от общего количества скота КР, скот содержится на пастбищах и собирать навоз нет возможности, поэтому общий процент собираемого навоза в Республике определен как 40%. Процент собираемого навоза для свиней определен как 60%, так как стойловое содержание поросят проходит на соломенной подстилке, и их навоз нельзя использовать для переработки в биогазовой установке.

Ежегодное количество отходов животноводства, собранных без мочи, составляет чуть менее 20 млн. тонн, из которых в фермерских хозяйствах собирается и может быть переработано 6,3 млн. тонн, влажностью 65%.

**Таблица 29. Накопление навоза в Кыргызской Республике на 2015 год<sup>4</sup>**

Животные	Количество по Республике	Собираемый навоз, %	Навоз на 1 животное в сутки, кг	Навоз, тонн в сутки по Республике	Навоз, тонн в год (330 дней) по Республике
<b>КРС (влажность 65%)</b>	1458377	40	32.50	18959	6256437
<b>Свиньи (влажность 65%)</b>	50782	60	4.00	122	40219
<b>Овцы и козы</b>	5829024	0			
<b>Лошади</b>	432972	0			
<b>Птица (влажность 75%)</b>	5420033	30	0.16	260	85853

<sup>4</sup> Нацстат КР, 2015 [www.stat.kg](http://www.stat.kg)

<b>Итого, навоза 65% влажности:</b>	<b>19341</b>	<b>6382510</b>
<b>Итого, сырья 85% влажности:</b>	<b>45064</b>	<b>14871248</b>

В ходе подготовки к переработке в биогазовых установках, навоз доводят до 85% влажности, добавляя 1,33 тонны воды на 1 тонну навоза 65% влажности. В результате, потенциал сырья, готового для переработки в биогазовых установках составляет 14,8 миллионов тонн.

Кроме навоза, в качестве биомассы для переработки в биогазовых установках можно было бы рассмотреть и растительные отходы главных сельскохозяйственных культур, выращиваемых в КР. Более 96% посевных площадей занимают: зерновые культуры (40,4%), пшеница (23,8%), ячмень (10,1%), картофель (5,5%), масличные, плодово-ягодные и овощные культуры (каждая по 3-3,5%).

Однако отходы зерновых культур, включая пшеницу, ячмень и кукуруза (солома и кукурузные стебли) используются для корма скота; отходы овощных и масличных культур могут или перерабатываться в биогазовых установках в смеси с навозом, или, в случае небольших объемов, как в Кыргызской Республике, использоваться для производства компоста.

## Потенциал биоудобрений в Кыргызстане

Переработка тонны сырья на биогазовой установке дает одну тонну жидких органических удобрений, норма внесения которых – от 5 до 7 тонн на гектар. Переработка всех собираемых отходов животноводства в Кыргызстане позволит получить до 16 миллионов тонн жидких удобрений и полностью удовлетворит потребности сельского хозяйства республики в удобрениях.

Одновременно с получением жидких удобрений в результате анаэробной переработки отходов животноводства будет получено 268 миллионов биогаза в год, или 745 тысяч м<sup>3</sup> биогаза в день для обеспечения бытовых энергетических нужд сельского населения и потребностей в моторном топливе. Такого количества биогаза, после вычета биогаза идущего на подогрев сырья в реакторе, будет достаточно для 2,6 миллионов м<sup>2</sup> жилых и производственных площадей, то есть 52 тысячи средних сельских домов площадью 50 м<sup>2</sup>. При использовании выработанного биогаза для приготовления пищи, можно обеспечить нужды 104 тысяч сельских домохозяйств, и получить дополнительные выгоды от сохранения лесов, сокращения выбросов парниковых газов и облегчения женского труда.

Можно также произвести подсчеты переработки такого количества навоза, которое обеспечит биоудобрениями все пахотные и сенокосные земли Кыргызской Республики.

**Таблица 30. Расчет стоимости и выгод программы внедрения биогазовых установок для Кыргызской Республики для обеспечения биоудобрениями земель КР**

Показатели	Кыргызская Республика
Пахотная и сенокосная земля, тысяч га	1,276.70
Необходимое минимальное количество биоудобрений, тонн в год исходя из нормы 7 тонн на га (85% влажности)	8,936,900.00
Необходимое минимальное количество навоза для производства биоудобрений в год, 65% влажности	3,835,579.40
Необходимый объем реакторов БГУ для переработки навоза в мезофильном режиме, м <sup>3</sup>	580,318.18
Средняя стоимость монтажа 1 м <sup>3</sup> реактора, USD	470.00
Общестроительные работы (80% стоимости БГУ) на 1 м <sup>3</sup> реактора, USD	376.00
<b>Стоимость конструирования биогазовых установок, USD</b>	<b>490,949,181.82</b>
Количество вырабатываемых биоудобрений	8,615,171.60
Стоимость тонны получаемых биоудобрений, USD	<b>33.33</b>
Выгода от производства биоудобрений, USD	287,172,386.67
Количество вырабатываемого биогаза в год, м <sup>3</sup>	268,107,000.00
Стоимость 1 м <sup>3</sup> биогаза, USD	<b>0.16</b>
Выгода от производства биогаза, USD	42,070,456.75
<b>Выгода от производства биогаза и удобрений в год, USD</b>	<b>329,242,843.42</b>
<b>Окупаемость строительства биогазовых установок при работе в полную мощность, лет</b>	<b>1.49</b>

Для обеспечения биоудобрениями пахотных и сенокосных земель достаточно переработки 60% от общего потенциала собираемого в хозяйствах навоза, стоимость строительства биогазовых установок составит около 490 миллионов долларов.

Стоимость 400 тыс. тонн минеральных удобрений, таких как аммиачная селитра, карбамид, сульфат аммония – рассчитанная потребность КР в удобрениях, стоит при закупке их Кыргызстаном в Узбекистане в январе 2014 года в среднем, по 28 сом за килограмм, то есть стоят не менее 186 миллионов долларов.

Таким образом, при вложении средств в строительство биогазовых установок, вместо закупок минеральных удобрений за границей, можно за 3-4 лет перевести сельское хозяйство Республики на само обеспечение биоудобрениями, показавшими в ходе практических испытаний свою эффективность, сравнимую с эффективностью минеральных удобрений (см. ниже), при одновременном улучшении качеств выращиваемой продукции.

**Таблица 31. Расчет стоимости и выгод программы внедрения биогазовых установок для переработки всего потенциально собираемого навоза в Кыргызской Республике**

<b>Показатели</b>	<b>Кыргызская Республика</b>
Собираемое количество навоза (65%) по КР	6,382,510
Необходимое минимальное количество навоза для производства биоудобрений в год, 85% влажности	14,871,248
Необходимый объем реакторов БГУ для переработки необходимого навоза в мезофильном режиме, м <sup>3</sup>	965,665
Средняя стоимость монтажа 1 м <sup>3</sup> реактора	470
Общестроительные работы (около 80% стоимости БГУ) на 1 м <sup>3</sup> реактора	376
<b>Стоимость конструирования БГУ</b>	<b>816,952,991</b>
Количество вырабатываемых биоудобрений	5,847,145.06
Стоимость тонны получаемых биоудобрений	<b>33.33</b>
Выгода от производства биоудобрений при продаже	194,885,345
Количество вырабатываемого биогаза в год, м <sup>3</sup>	446,137,449
Стоимость 1 м <sup>3</sup> биогаза	<b>0.16</b>
Выгода от производства биогаза	70,495,665
<b>Выгода от производства биогаза и удобрений в год</b>	<b>265,381,010</b>
<b>Окупаемость строительства биогазовых установок при работе в полную мощность, лет</b>	<b>3</b>

## Окружающая среда

Когда страна стоит перед проблемой уменьшения площади лесопосадок и деградации почв, биогазовые технологии могут предотвратить эти проблемы и полностью заменить потребность в дровах на биогаз в сельской местности. При ежедневной потребности на одного человека около 3 кг дров для их замещения необходимо 2,3 м<sup>3</sup> биогаза [8].

Хорошо функционирующие биогазовые установки могут полностью заменить потребление дров и угля биогазом. В макроэкономических оценках эффект применения биогазовых установок оценивается в гектарах сохраненного леса. Денежная выгода может быть подсчитана исходя из затрат на посадку и выращивание такой площади леса. Но такой простой подход не совсем верен, так как сельское население использует сначала только сухие ветки и деревья и только потом зеленые деревья, а эффект обезлесения проявляется медленно, и на определенных стадиях лес может самовосстанавливаться.

В то же время искусственные посадки не восстанавливают биоразнообразия, присущего этой территории, и между обезлесением и высадкой деревьев часто проходит много времени, за которое осуществляются необратимые процессы эрозии, сокращаются фауна и флора. Уменьшение обезлесения и деградации земель является одним из главных аргументов для внедрения биогазовых технологий.

Отходы животноводства негативно влияют также на санитарную обстановку, загрязняя водные ресурсы. Навозные стоки являются благоприятной средой для жизнедеятельности различных микроорганизмов, в том числе и патогенных, а также отличаются высоким содержанием яиц гельминтов.

Уникальной особенностью применения биогазовых технологий является одновременное уменьшение необходимости использования дров и улучшение качества земель, существенно уменьшающее угрозу их деградации, а также снижение выбросов парниковых газов в атмосферу, предотвращающее изменение климата.

## Здравоохранение

Биогазовые установки обеспечивают утилизацию отходов и сточных вод и прямым образом улучшают санитарную и гигиеническую ситуацию в стране в целом и для индивидуальных фермеров в частности. При переработке сырья также исключается открытое хранение навоза и фекалий. Кроме того, во время переработки активно уничтожается патогенная микрофлора. Таким образом, применение биогазовых технологий увеличивает ожидаемую продолжительность жизни для населения, освобождает население от затрат на лекарственные средства и лечение кишечных заболеваний.

### **Уменьшение патогенного влияния**

Переработка животных и человеческих экскрементов в биогазовых системах явно улучшает санитарные условия для владельцев установок их семей и общества в целом. Патогенные возможности сырья сильно уменьшаются при анаэробной переработке. Каждая новая установка избавляет от необходимости сооружения мусорных и туалетных ям. Прямое подключение туалетов к реакторам является особо выгодным с точки зрения гигиены и санитарного благополучия, а также избавляет от запаха.

### **Уменьшение распространения болезней**

Так как биоудобрения не привлекают мух и других паразитов, уменьшается распространения заразных болезней среди людей и среди животных. Более того, уменьшаются глазные и респираторные болезни от сжигания сухого кизяка и дров<sup>8</sup>.



**Рис.78. Пойменные леса – одна из уязвимых экосистем Кыргызстана**

*Фото: Веденева Т.А., ЦРВИЭЭ*

### **Желудочно-кишечные заболевания**

Многие желудочно-кишечные заболевания распространяются патогенными микроорганизмами, содержащимися в фекальных массах. Заражение обеспечивается самими фермерами, распределяющими фекальные массы на полях. Анаэробная переработка человеческих, животных экскрементов и органических отходов обеспечивает их обеззараживание путем уничтожения большинства патогенных бактерий. Успешным является пример борьбы с шистосомозом и ленточными червями путем распространения биогазовых установок в Китае, где эти заболевания уменьшились соответственно на 99% и 13% от уровня до внедрения биогазовых установок<sup>14</sup>.

### **Экономический эффект снижения заболеваемости**

Для пользователей биогазовых технологий положительное влияние на здоровье особенно ярко выражается за счет снижения задымления на кухнях. Эффект снижения желудочно-кишечных заболеваний становится заметен только при широком внедрении биогазовых установок.

## **Занятость**

При сооружении биогазовых установок создаются дополнительные рабочие места и возможности для создания коммерческих предприятий, так как увеличивается количество производимой энергии, развиваются сельские регионы страны, что способствует сокращению миграции и общему улучшению жизненных условий.

### **Рост местных производств**

Сооружение биогазовой установки предоставляет кратковременную возможность занятости в работах по сооружению котлована, фундамента, строительства и инсталляции труб. Эксплуатация установок требует долговременной занятости операторов и предоставляет возможности для квалифицированных рабочих по ремонту и обслуживанию биогазовых установок, распределению удобрений, сбору сырья. В Китае замечен бурный рост местных производств частей для биогазовых установок и материалов для них<sup>8</sup>.

### **Миграция**

Замечен эффект уменьшения миграции из сельских в городские районы, благодаря созданию рабочих мест и улучшению жизненных условий в хозяйствах и сельских районах развивающихся стран, где были построены биогазовые установки<sup>8</sup>.

## **Социальная политика**

Биогазовые технологии не только поддерживают государственную экономику и экологическую ситуацию в стране, но и предоставляет местному населению возможности для улучшения жизненных условий и благосостояния. Улучшаются санитарные условия и здоровье населения. Занятость, профессиональная квалификация и производство продовольствия для сельских жителей также улучшаются. Для сглаживания возникающих различий в доходах рекомендуется устанавливать биогазовые системы для общин и ассоциаций.

## **Внедрение биогазовых технологий в Кыргызстане**

Успешное широкомасштабное внедрение биогазовых технологий требует учета взаимного влияния существующих климатических, социальных, экономических и экологических условий, повышения общественной и политической осознанности, а также государственной поддержки.

### **Климатические условия**

Биогазовые технологии принципиально применимы в большинстве климатических зон, но стоимость их внедрения увеличивается с понижением температуры окружающей среды, так как в таких случаях необходимо дополнительное обеспечение подогрева и изоляция биогазовой установки. Биогазовые системы без подогрева и изоляции не показывают удовлетворительных результатов при средних температурах воздуха ниже 15 °С.

Малое количество сезонных и годовых осадков приводит к расширению отгонного выпаса скота вместо стойлового содержания. Это снижает количество получаемого навоза, готового к переработке в биогазовых установках. С другой стороны, обильные осадки ведут к подъему уровней подземных вод, которые создают проблемы при сооружении и эксплуатации биогазовых установок.

Все природные особенности Кыргызстана – ландшафты, почвы, водные ресурсы, флора и фауна, а так же социальные и экономические условия жизни и деятельности населения

определяются горами. Особенности климата страны являются понижение атмосферного давления и температуры воздуха (в среднем на 0,6°C на 100 м) и увеличение осадков с увеличением высоты.

Среднегодовая многолетняя температура на всей территории Кыргызстана ниже +15°C воздуха и биогазовые установки без подогрева и изоляции не смогут обеспечить хозяйства Кыргызстана биогазом и биоудобрениями круглый год. Наиболее эффективно внедрение установок, в реакторе которых поддерживается мезофильная или термофильная температура. Установки с изоляцией реактора, но без подогрева, в которых процесс сбраживания происходит при температурах до 20°C, смогут обеспечить только производство малого количества биогаза. Температура в реакторе установок без подогрева и изоляции обычно на 1-2°C выше температуры земельного покрова и они будут работать только в теплое время года.

### **Экономические условия**

В Кыргызстане, где около 66,4%<sup>41</sup> населения занято в сельском хозяйстве и более 38%<sup>41</sup> жителей находятся за чертой бедности, очевидным препятствием крупномасштабного внедрения биогазовых технологий является отсутствие необходимых финансовых средств. Бедные слои общества не смогут себе позволить капиталовложения, необходимые для внедрения биогазовой установки, даже несмотря на быструю окупаемость и экономические выгоды, получаемые от биогазовой установки.

Попытки уменьшения стоимости сооружения биогазовой установки должны предприниматься параллельно с развитием кредитных и других финансовых систем, облегчающих доступ к средствам для внедрения биогазовых установок. Широкое распространение биогазовых установок обеспечивает выгоды не только владельцам установок, но и обществу в целом.

Макроэкономическая оценка выгоды внедрения биогазовых установок должна учитывать положительные эффекты на энергетический сектор, увеличение сельскохозяйственной продукции, снижение затрат на здравоохранение и экологию, увеличение занятости и замену импортируемых газа и удобрений на собственные.

### **Социальные условия**

Биогазовые технологии не только поддерживают государственную экономику и качество окружающей среды, но и предоставляет местному населению возможности для улучшения жизненных условий и благосостояния. Улучшаются санитарные условия и здоровье населения, а также качество продуктов питания, выращенных без химических препаратов. Благодаря уменьшению затрат на отопление поддерживаются школы, библиотеки, клубы. Занятость и профессиональная квалификация сельских жителей также улучшаются.

Сельскохозяйственные биогазовые установки утилизируют отходы и навозные стоки и прямым образом улучшают гигиеническую ситуацию для индивидуальных пользователей и общества в целом. При переработке сырья также исключается открытое хранение навоза и фекалий. Кроме того, во время переработки частично уничтожается патогенная микрофлора. Таким образом, биогазовые технологии увеличивают ожидаемую продолжительность жизни населения и сокращают затраты на лекарственные средства и лечение кишечных заболеваний, увеличивая работоспособность.

### **Политические условия**

Для Кыргызстана, широкомасштабное производство биоудобрений и биогаза позволит снизить количества импортируемых ископаемого топлива и минеральных удобрений. Макроэкономически, переработка органических отходов в биоудобрения для деградированных сельскохозяйственных земель страны и производство биогаза как источника энергии имеют первоочередную важность.

Учитывая существующие в стране экономические условия и выгоды внедрения биогазовых технологий в сельское хозяйство страны, финансовая поддержка правительства может рассматриваться как капиталовложение, направленное на уменьшение в будущем затрат на импорт нефтепродуктов и минеральных удобрений, расходов на здравоохранение и поддержания гигиены, а также расходов, связанных с деградацией природных ресурсов.

Примеры успешного широкомасштабного внедрения биогазовых установок в странах Америки, Европы и Азии путем предоставления субсидий, льготного финансирования для строительства и эксплуатации биогазовых установок, обучения фермеров, открытия сервисных центров позволяют рекомендовать принятие похожих мер в Кыргызской Республике.

### **Общественная и политическая осознанность**

Популяризация биогазовых технологий должна происходить параллельно строительству и внедрению биогазовых установок. Без осознания населением Кыргызстана целесообразности внедрения биогазовых технологий, выгод и ограничений их применения, не может быть и речи о внедрении биогазовых технологий на уровне фермеров. В то же время, необходима осведомленность

внутри правительства страны. Так как влияние и аспекты биогазовых технологий имеют отношение к самым разным правительственным структурам (например, сельское хозяйство, экология, энергетика, экономика), необходимо идентифицировать и включить все ответственные правительственные структуры, а также гражданский сектор в процесс распространения информации о биогазовых технологиях и повышения их статуса.

### ***Государственная поддержка***

Для обеспечения широкомасштабного распространения биогазовых технологий, позитивно влияющих на государственную экономику, государство может оказать следующую поддержку:

- ✓ Принять государственную программу по внедрению биогазовых технологий.
- ✓ Разработка такой программы, инициированная Ассоциацией «Фермер», уже ведется в Кыргызстане.
- ✓ Создать или изменить существующие структурные условия для привлечения фермеров и крестьян к строительству биогазовых установок. Например, принять законодательство о переработке и утилизации отходов, контроль за потреблением дров и вырубкой лесопосадок;
- ✓ Субсидировать сооружение частных или общинных биогазовых установок путем выдачи грантов или дешевых кредитов;
- ✓ Выделить средства на сооружение и эксплуатацию биогазовых установок на базе общественных и государственных и муниципальных предприятий.

## **Глобальные экологические выгоды биогазовых технологий**

При анаэробной переработке животноводческих отходов достигается снижение выбросов парниковых газов, влияющих на климат. Использование биогаза уменьшает выбросы углекислого газа благодаря снижению потребления ископаемых видов топлива, таких как бензин, уголь, дрова. В то же самое время благодаря сбору и использованию эмиссий метана за счет переработки навоза, происходит уменьшение выбросов второго важнейшего парникового газа – метана.

### ***Возобновляемый источник энергии***

В данный момент поставка глобальной энергии сильно зависит от ископаемых источников (нефть, бурый уголь, каменный уголь, природный газ). Эти ископаемые остатки мертвых растений и животных, находились под воздействием тепла и давления в земной коре в течение миллионов лет. По этой причине, ископаемое топливо является не возобновляемым ресурсом, запасы которого истощаются быстрее, чем формируются новые.

Мировая экономика зависит от нефти. Существует некоторое разногласие среди ученых о том, как долго мы сможем пользоваться ископаемыми ресурсами, но согласно мнению исследователей, "пик добычи нефти" уже прошел, или оно как ожидается, произойдет в течение ближайшего времени.

В отличие от ископаемых видов топлива, биогаз является возобновляемым источником энергии, так как он производится из биомассы, которая на самом деле является живым хранилищем солнечной энергии посредством фотосинтеза. Биогаз, полученный путем анаэробной переработки биомассы способен не только улучшить энергетический баланс страны, но и внести важный вклад в сохранение природных ресурсов и охрану окружающей среды.

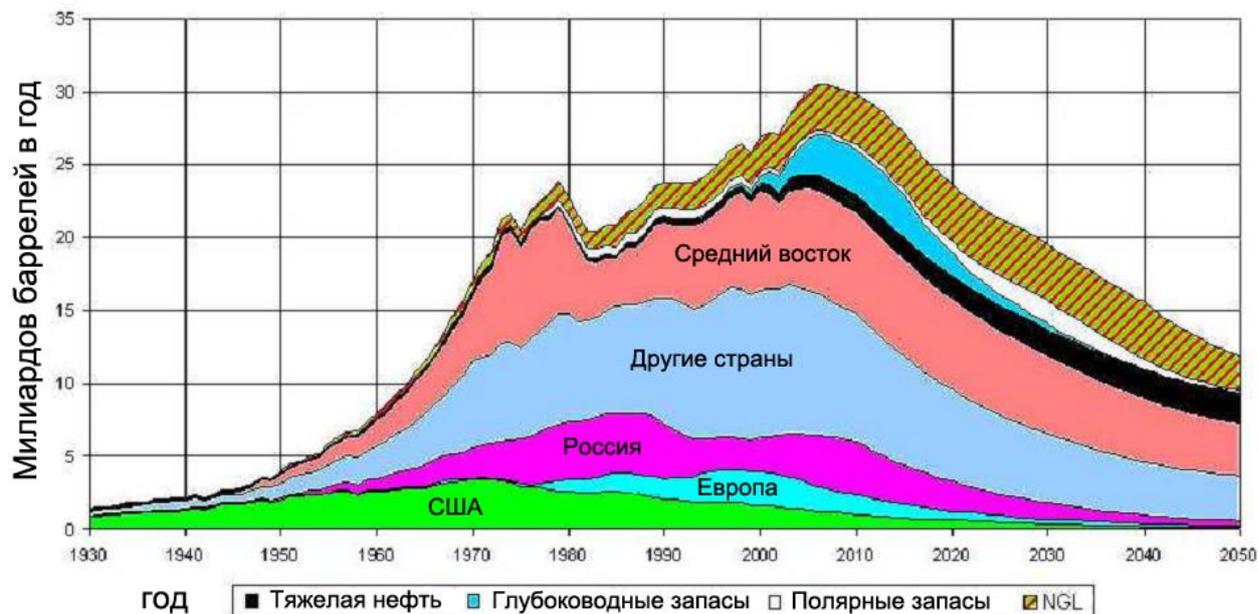


Рис. 79. Сценарий мирового производства нефти и пик производства (ASPO 2008).

### Парниковый эффект

Парниковый эффект вызывается присутствием в атмосфере газов, которые позволяют солнечной коротковолновой радиации достигнуть земли, но, как парниковая пленка, задерживают инфракрасное излучение от нагретой земли. Благодаря природному парниковому эффекту, средняя температура земли составляет 15°C а не минус 18°C.

Увеличение присутствия в атмосфере парниковых газов, которые включают главным образом, углекислый газ, метан и закись азота (веселящий газ), приводит к увеличению температуры земли, изменению климата. По оценке экспертов Всемирного Банка, до 2050 года всемирное потепление увеличит уровень моря на 50 см, что вызовет затопление берегов, засоление грунтовых вод и потерю площади земли<sup>13</sup>.

### Снижение эмиссий углекислого газа

Биогазовые установки снижают потребление дров и уменьшают обезлесение, сокращают деградацию земель и следующие за ней природные катастрофы, такие как подтопление или опустынивание.

Использование 1 м<sup>3</sup> биогаза вместо 1,3 кг дров снижает выбросы углекислого газа на 2,6 кг. Снижение выбросов углекислого газа за счет замены использования бензина составляет около 1,6 кг на 1 м<sup>3</sup>.

### Биогаз и глобальный углеродный цикл

Естественное образование биогаза является важной частью биохимического углеродного цикла планеты. Каждый год около 590-880 миллионов тонн метана выпускается в земную атмосферу посредством действия микробов. Около 90% эмиссий метана происходят через разложение биомассы, а остальная часть - за счет протекания природных процессов<sup>24</sup>.

### Снижение эмиссий метана

До сегодняшнего дня меры по снижению глобального потепления относились, главным образом, к уменьшению выбросов углекислого газа, благодаря его высокой концентрации в атмосфере, но другие газы обладают намного более сильным парниковым эффектом.

Например, метан составляет только 20% содержания парниковых газов в атмосфере, но потенциал его влияния на климат в 21 раз выше, чем углекислого газа. Следовательно, снижение выбросов метана более эффективно для предотвращения изменения климата, чем снижение выбросов углекислого газа<sup>28</sup>.

### Источники эмиссий метана в сельском хозяйстве<sup>8</sup>

Количество эмиссий метана от сельского хозяйства составляет около 33 % глобальных выбросов метана, связанных с деятельностью человека. Животноводство ответственно за 16 %, выращивание риса - 12 % и животноводческие отходы – за 5 %.

В то время, как 16% глобальных выбросов метана, производимых при переваривании сырья жвачными животными (около 80 миллионов тонн в год) вряд ли могут быть уменьшены, эмиссии

метана от животноводческих отходов могут быть собраны и использованы при помощи анаэробной переработки в биогазовых установках.

Точное количество эмиссий метана зависит от типа животных, их корма и систем хранения навоза. Например, в развитых странах, эмиссии от молочных животных составляют 0,32 м<sup>3</sup> метана на килограмм сухих навозных веществ, а в развивающихся – только 0,25 м<sup>3</sup>.

#### ***Потенциал снижения выбросов метана с помощью биогазовых технологий***

С помощью анаэробной переработки животноводческих отходов и использования метана для производства энергии можно добиться глобального снижения выбросов парниковых газов на 99 миллионов тонн или 4 % глобальных антропогенных выбросов в год<sup>43</sup>.

#### ***Снижение эмиссий закиси азота в сельском хозяйстве***

Относительный потенциал закиси азота (веселящего газа) для изменения климата в 320 раз больше потенциала углекислого газа. Производство веселящего газа – природный микробиологический процесс, происходящий во время нитрификации и денитрификации в почвах, сточных водах и системах утилизации отходов. Удобрение почв и специальные условия хранения могут снизить эмиссии веселящего газа в несколько раз. Исследования показывают, что выбросы веселящего газа могут быть уменьшены на 10 % при помощи анаэробной переработки жидких отходов. Это означает предотвращение выбросов 15,7 миллионов тонн эквивалента углекислого газа в год<sup>8</sup>.

#### ***Потенциал снижения выбросов парниковых газов в Кыргызстане***

При переработке 6,38 миллионов тонн навоза в год будет предотвращен выброс более 8224 Гг эквивалента углекислого газа в атмосферу (при выходе биогаза 30 м<sup>3</sup> с тонны сырья, составе равном 60% метана и 40% углекислого газа, весе 1 м<sup>3</sup> биогаза 1,2 кг и эквивалентности 25 м<sup>3</sup> углекислого газа), а снижение потребления ископаемых видов топлива при их замене на биогаз приведет к дополнительному снижению эмиссий углекислого газа.

Широкое внедрение биогазовых технологий в индустриальный и сельскохозяйственный сектора экономики Кыргызстана плюс производство тепла и энергии для бытовых приборов позволит достигнуть эффективного и устойчивого снижения экологических нагрузок на окружающую среду.

## Литература

1. H. Werner et. al. "Economical and Environmental analysis of a biogas plant within a context of a real farm", 2004, The Royal Veterinary and Agricultural University Denmark
2. «Biomass Energy Systems», ACRE, the Australian CRS for Renewable Energy Ltd, <http://www.phys.murdoch.edu.au/acref/>.
3. «How small bio-digesters can improve nutrient recycling in agriculture, reduce emissions of greenhouse gases and improve local energy services», 2000, Prepared for IAC by ETC Energy
4. «Исследование потребности рынка Кыргызстана в биогазовых установках», JICA, 2004.
5. «Второе Национальное сообщение Кыргызской Республики по Рамочной Конвенции ООН об изменении климата», 2008, [http://www.climatechange.undp.kg/rus/html/3\\_2.html](http://www.climatechange.undp.kg/rus/html/3_2.html).
6. Åke Nordberg «Policies in different EU-countries influencing implementation of anaerobic Digestion» JTI – Swedish Institute of Agricultural and Environmental Engineering, AD-Nett, 2004
7. Arthur Wellinger «Trends in Biogas utilization in Austria, Germany and Switzerland», 2004, Nova Energie GmbH, Switzerland
8. AT Information: Biogas, GTZ project Information and Advisory Service on Appropriate Technology (ISAT), 1996, Eshborn, Deutschland
9. Carl Nelson, John Lamb «Final Report: Haubenschild Farms Anaerobic Digester», The Minnesota Project, August 2002, [www.mnproject.org](http://www.mnproject.org).
10. Lusk, P. «Methane Recovery from Animal Manures: A Current Opportunities Casebook». 3<sup>rd</sup> Edition, 1998, NREL/SR-25145. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory. Work performed by Resource Development Associates, Washington, DC
11. Nils Holgerssongymnasiet «Manure – an agronomic and environmental challenge», Book of abstracts NJF – seminar no.372, 2005, Skurup, Sweden
12. Production and Utilization of Biogas in Rural Areas of Industrialized and Developing Countries, Schriftenreihe der gtz, No. 97
13. SNV Reference Guide on Climate Change and Rural Energy, Version May 2004, [http://www.snvworld.org/cds/rgccre/ClimateChange\\_RuralEnergy.htm](http://www.snvworld.org/cds/rgccre/ClimateChange_RuralEnergy.htm).
14. Uri Marchaim, «Biogas processes for sustainable development», 1992, FAO
15. Абасов В.С. Годовой отчет на тему: «Изучение влияния метанового эффлюента и сочетания его с другими видами удобрений на урожай и качество сельхоз культур», 2005, Кыргызский научно – исследовательский институт земледелия
16. Бударин В.А., Кыдыралиев С.К., Цветчих В.И., Бударина Л.В., «Определение воздействия жидких органических удобрений (ЖОУ) на черенкование и развитие некоторых видов растений.» Институт энергетики и электроники ЮО НАН КР, институт биосферы ЮО НАН КР, областной детский центр экологии, краеведения и технического творчества (ОДЦ ЭКиТТ), г. Жалалабат
17. Бударин В.А., Кыдыралиев С.К., «Особенности получения биогаза и биологически активного органического вещества из растительных отходов.» Институт энергетики и электроники южного отделения Национальной академии наук Кыргызской Республики, г. Жалалабат
18. В. Дубровский, У. Виестур «Метановое сбраживание сельскохозяйственных отходов», 1988, Рига «Зинатне»
19. В. Некрасов «Микробиологическая анаэробная конверсия биомассы», 2001, рукопись
20. Веденев А.Г. «Биогазовые установки», 2005, ОФ «Флюид» Ассоциации «Фермер»
21. ОФ «Флюид», «Биоэнергетические модули для анаэробного сбраживания навоза типа БЭМС с реакторами объемом 5,0; 25,0; 50,0; 100,0 м<sup>3</sup>», 2004, Руководство по эксплуатации
22. Ю. Калмыкова, А. Герман, В. Жирков «Проект Биогаз», 2005, Карагандинский Экологический Музей
23. BiogasWorks, 2002, [www.biogasworks.com](http://www.biogasworks.com)
24. E. Martinot "Renewables 2005", 2005, Global Status Report, Worldwatch Institute
25. REN21 Renewable Energy Policy Network, 2005, "Energy for Development: The Potential Role of Renewable Energy in Meeting the Millennium Development Goals." Washington, DC, Worldwatch Institute.
26. «Итоги учета скота и домашней птицы по категориям хозяйств, в разрезе областей, районов и городов Кыргызской Республики», 2011, Национальный статистический комитет КР.
27. «Кредитные ресурсы Кыргызской Республики» Справочник, 2005, СЕНТИ.
28. Родина Е.М. «Отчет в области оценки мер по сокращению парниковых газов из бытовых и сельскохозяйственных отходов», 2003, МЭиЧС КР, ГЭФ ПРООН.
29. Загурский А.В. (2010-2012). Влияние метанового эффлюента на урожай и качество картофеля. Бишкек, Кыргызский Национальный Аграрный Университет.
30. Ахматбеков М.А. (2010-2012). Эффективность биоудобрения на посевах сахарной свеклы. Бишкек, Кыргызский Национальный Аграрный Университет.
31. ОФ "Флюид". (2012). Биоэнергетические модули для анаэробного сбраживания навоза. Руководство по эксплуатации. Бишкек.

32. <http://www.biru.or.id/en/index.php/bio-slurry/> BIRU, Indonesia.
33. Elmar Dimpl, Small-scale Electricity Generation from Biomass, Part II: Biogas, 1st edition, August 2010, Editor: Michael Blunck, GTZ-HERA.
34. Biogas handbook, Teodorita Al Seadi, et.al., University of Southern Denmar, 2008.
35. Biogashandbuch Bayern – Materialienband - Kap. 1.1 – 1.5, Stand Juli 2007.
36. Yashoda Sustainable Development (P) Ltd., Physico-chemical Analysis of Bio-slurry and Farm Yard Manure for Comparison of Nutrient Contents and other Benefits so as to Better Promote Bio-slurry, Nepal 2006.
37. World bioenergy association Factsheet 2013, [www.worldbioenergy.org](http://www.worldbioenergy.org)
38. BiogasIN: Sustainable biogas market development in Central and Eastern Europe, Editor: Ana Kojaković, Energy Institute Hrvoje Požar, December 2012;
39. «Нетрадиционная» энергетика против природного газа;
40. Elmar Dimpl, GTZ, Small-scale Electricity Generation from Biomass, Part II: Biogas, August 2010;
41. Уровень жизни населения КР 2008-2012, Национальный статистический комитет Кыргызской Республики, Бишкек 2013;
42. поголовье скота и домашней птицы, Национальный статистический комитет Кыргызской Республики, Бишкек 2015;
43. Webber, Michael E and Amanda D Cuellar. "Cow Power. In the News: Short News Items of Interest to the Scientific Community." Science and Children os 46.1 (2008): 13. Gale. Web. 1 October 2009 in United States.
44. Факультет сельскохозяйственных наук Аархусского университета <http://eng.au.dk/en/research/laboratory-facilities/biogas-plant/biogas/>
45. AgSTAR <http://www.epa.gov/agstar/projects/>
46. Результаты экспериментов по изменению температуры переработки навоза в биогазовых установках, ОФ «Флюид», Бишкек 2014, рукопись;
47. Третье национальное сообщение КР по Рамочной конвенции ООН об изменении климата, 2016.

## Приложение А. Список демонстрационных биогазовых установок в Кыргызстане

*Список установок с подогревом, изоляцией пневматической загрузкой и перемешиванием сырья в Кыргызстане.*

№	Производитель /Заказчик	Объем реакторов	Местонахождение установки	Год изготовления	Статус на 11/2017
1.	ОФ «Флюид» Веденев А. Г.	25 м <sup>3</sup>	Филиппов Игорь Чуйская область Московский район с. Беловодское, ул. Рябова 21	2003	Работает
2.	ОФ «Флюид» Веденев А. Г.	200 м <sup>3</sup>	ОАО «Ак-Куу» Чуйская область, Сокулукский район с. Сокулук, ул. Краснодарская 1	2006	Работает
3.	ОФ «Флюид» Веденев А. Г.	100 м <sup>3</sup>	ОФ «Флюид» Чуйская область, г Бишкек ул. Алма-Атинская 1	2014	Работает
4.	ОФ «Флюид» Веденев А. Г. Японское агентство международного сотрудничества (ЛСА)	25 м <sup>3</sup>	Молочный кооператив «Айкомдан» Чуйская область, Иссыкатынский район Иссыкатынское айыл окмоту, ул. Советская 1А	2008	Работает
5.	ОФ «Флюид» Веденев А. Г. Японское агентство международного сотрудничества (ЛСА)	50 м <sup>3</sup>	КХ «Дары Природы» Кольченко Г.П. Чуйская область, г Токмак, ул. Слободская 111	2008	Работает

6.	ОФ «Флюид» Веденев А. Г. Японское агентство международного сотрудничества (ЛСА)	10 м <sup>3</sup>	Жакешев Бердибек Чуйская область, Кеминский район, Кок- Ойрокский АО, с Карал- Добо	2008	Работает
7.	ОФ «Флюид» Веденев А. Г.	200 м <sup>3</sup>	ОАО «МиС» Чуйская область, г Кант, ул. Советская 3	2007	Работает
8.	ОФ «Флюид» Веденев А. Г.	100 м <sup>3</sup>	ОсОО «Нарын Эт» Нарынская область, г Нарын, ул. Ленина 105	2008	В рабочем состоянии
9.	ОФ «Флюид» Веденев А. Г.	25 м <sup>3</sup>	Харламова Людмила Чуйская область, г Токмак - с Чуй, ул. Береговая 5	2010	Работает
10.	ОФ «Флюид» Веденев А. Г.	50 м <sup>3</sup>	Жамаат «Заря» Иссык-кульская область, Ак-суйский район, с Теплоключенка	2010	Работает
11.	ОФ «Флюид» Веденев А. Г.	25 м <sup>3</sup>	КХ «Фаворит» Иссык-кульская область, с Григорьевка	2010	Работает
12.	ОФ «Флюид» Веденев А. Г.	25 м <sup>3</sup>	КХ «Насият» Чуйская область, с Манас	2010	Работает
13.	Проект "Содействие распространению биогазовых технологий в КР"	25 м <sup>3</sup>	Тотубаев Кубат Иссык-Кульская область, Жети -Огузский район, с. Чон –Кызыл-Суу, Общественная баня.	2009	Работает
14.	Проект "Содействие распространению биогазовых технологий в КР"	10 м <sup>3</sup>	Сооронбаев Кадырбек Иссык-Кульская область, Жети -Огузский район, с. Желе- Добо, ул. Сооронбаева № 18	2009	Работает
15.	Проект "Содействие распространению биогазовых технологий в КР"	10 м <sup>3</sup>	Ашыров Таалай Иссык-Кульская область, Жети- Огузский район, с. Ак -Добо, ул. Орозова № 13	2009	Работает
16.	ОФ «Флюид» Веденев А. Г.	10 м <sup>3</sup>	Профессиональный лицей №43 Кыргызская Республика, Чуйская область, Сокулукский район, с Жаныжер	2011	Работает
17.	ОФ «Флюид» Веденев А. Г.	180 м <sup>3</sup>	КХ «Гаджи» Кыргызская Республика, Чуйская область, Сокулукский район, с. Жанги-Пахта	2012	Работает
18.	ОФ «Флюид» Веденев А. Г.	50 м <sup>3</sup>	ЧП «Сулайманов» Кыргызская Республика, Жалал-Абадская область, г. Джалал-Абад, Ул. Жамашева 133	2012	Работает
19.	ОФ «Флюид» Веденев А. Г.	50 м <sup>3</sup>	КХ «Абдыкерим-Агроном» Кыргызская Республика, Ошская область, Ноокенский район, с. Арал	2013	Работает
20.	ОФ «Флюид» Веденев А. Г. ПРООН	25 м <sup>3</sup>	Кыргызская Республика, Иссык-Кульская область, Тонский район, Кок-Мойнок	2013	В рабочем состоянии

			айыл окмоту, с. Ак-Олон		
21.	ОФ «Флюид» Веденев А. Г.	50 м3	ЧП «Кожобергенов С.К.» Кыргызская Республика, Джалал-Абадская область, пгт. Токтогул, ул. К. Момункулова 24	2013	В рабочем состоянии
22.	ОФ «Флюид» Веденев А. Г.	25 м3	Жамаат «Келечек» Кыргызская Республика, Ошская область, Узгенский район, Кара-Кульджинский АО, с. 1 мая	2013	Работает
23.	ОФ «Флюид» Веденев А. Г.	250 м3	ОсОО «Даамду Сут» Кыргызская Республика, Чуйская область, Московский район, с. Озерное	2014	Работает
24.	ОФ «Флюид» Веденев А. Г.	10 м3	КХ «Новый Путь» Кыргызская Республика, Чуйская область, Иссык- Атинский район, с. Ново- Покровка	2015	Работает
25.	ОФ «Флюид» Веденев А. Г. BAS EBRR	100 м3	ОсОО «Ошский торговый базар «Фуркат» Кыргызская Республика, 723500 Ошская область, Кара-Сууйский район, сельхозуправа «Шарк», участок «Фуркат»	2015	Работает
26.	ОФ «Флюид» Веденев А. Г. Ассоциации «Фермер» BAS EBRR	35 м3	КХ «Аккула» Ошская обл., Кара- Сууйский р-н, а/а Кызыл- Кыштак, ул.Достук, 25	2015	Работает
27.	ОФ «Флюид» Веденев А. Г. Ассоциации «Фермер» BAS EBRR	60 м3	ОсОО «ТОРО» Чуйская обл., Алмаединский р-н, с. Лебединовка	2015	Работает
28.	ОФ «Флюид» Веденев А. Г.	40 м3	КХ «Кел Кел» Кыргызская Республика, Чуйская область, Иссык- Атинский район, с. Виноградное	2016	Работает
29.	ОФ «Флюид» Веденев А. Г. ПРООН	25 м3	СК «Ак-Тилек», С. Ак-Муз, Ат-Башинского района, Нарынской области, КР	2016	Работает
30.	ОФ «Флюид» Веденев А. Г. ПРООН	25 м3	КХ «Улан» Нарынская обл., Ак- Талинский р-н, с. Угут	2016	В рабочем состоянии

**Список установок другого типа в Кыргызстане**

№	Производитель	Объем реакторов	Местонахождение установки	Год изготовления	Статус на 07/2013
1.	Проект "Содействие распространению биогазовых технологий в КР"	Квадратный реактор, сооружаемый из бетона подземной конструкции, (20 м <sup>3</sup> )	Бапаев Арстанбек Иссык-Кульская область, Жети - Огузский район, с. Желе- Добо, ул. Сооронбаева № 6	2010	Не работает

2.	Проект "Содействие распространению биогазовых технологий в КР"	Траншейный тип с теплицей (10 м <sup>3</sup> )	Рыскулов Таалайбек Иссык-Кульская область, Жети-Огузский район, с. Саруу, ул. Жээренбай ажы № 93	2010	Не работает
3.	Проект "Содействие распространению биогазовых технологий в КР"	Куполообразный реактор, сооружаемый из кирпича (10 м <sup>3</sup> )	Абдраев Жыргал Иссык-Кульская область, Жети - Огузский район, с. Саруу ул. Абдраева Ж. №7	2010	Не работает
4.	Проект "Содействие распространению биогазовых технологий в КР"	Куполообразный реактор, сооружаемый из кирпича (10 м <sup>3</sup> )	Карагалчаев Зайырбек Иссык-Кульская область, Жети-Огузский район, с. Ак - Добо, ул. Кыштообаева № 49	2010	Не работает

Кыргызская Республика,  
720082 г. Бишкек  
ул. Шабдан Батыра, 1а.  
Тел./факс: +996 (312) 533766  
Моб.: +996 (559) 000104  
[www.fluid-biogas.com](http://www.fluid-biogas.com)  
[contact@fluid-biogas.com](mailto:contact@fluid-biogas.com)

Кыргызская Республика,  
720082 г. Бишкек  
ул. Шабдан Батыра, 1а.  
Тел./факс: +996 (312) 533766  
Моб.: +996 (559) 000104  
[www.fluid-biogas.com](http://www.fluid-biogas.com)  
[contact@fluid-biogas.com](mailto:contact@fluid-biogas.com)

