МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и инженерной экологии

Кафедра «Рациональное природопользование и ресурсосбережение»

18.04.01 Химическая технология
(код и наименование направления подготовки)

Экобиотехнология
(направленность)

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему: **Разработка технологических решений по утилизации отходов животноводства с получением полезной энергии и удобрений**

Студент Л. Н. Мавлюдова (И.О. Фамилия) _____ (личная подпись)

Научный руководитель В. В. Заболотских (И.О. Фамилия) _____ (личная подпись)

Руководитель программы д.т.н., доцент, С.В. Афанасьев (ученая степень, звание, И.О. Фамилия) _____ (личная подпись)

«_____»_____2017г.

Допустить к защите

Заведующий кафедрой к.п.н., доцент, М.В. Кравцова (ученая степень, звание, И.О. Фамилия) _____ (личная подпись)

«_____»_____2017г.

Тольятти 2017

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 4
ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ ЖИВОТНОВОДСТВА 9
1.1 Потенциал биоэнергетики и биоэнергетические источники России. 9
1.2 Проблема негативного воздействия отходов животноводства на окружающую среду 17
1.3 Физико-химические свойства органических отходов животноводства как субстрата анаэробной переработки 18
1.4 Теоретические аспекты анализа метанового сбраживания на животноводческих фермах 21
ГЛАВА 2. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ, ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ЖИВОТНОВОДСТВА 30
2.1 Анализ технологий переработки отходов животноводства 30
2.1.1 Анаэробное сбраживание 31
2.1.2 Компостирование 33
2.1.3 Вермикомпостирование 36
2.1.4 Термохимическая газификация 37
2.1.5 Комплексная переработка 38
2.2.2 Параметры и оптимизация процесса сбраживания 45
2.2.3 Соблюдение температурного режима. Температурные границы процесса сбраживания 45
2.2.4 Выбор оптимальной влажности сырья 51
2.3 Технологические особенности процесса компостирования 54
2.3.1 Стадии компостирования 54
2.3.2 Микробиологические аспекты компостирования 57
2.3.3 Биохимические аспекты компостирования 58

2.3.4 Оптимальные условия компостирования 59
2.4 Анализ оборудования для переработки отходов животноводства .. 63
2.4.1 Биогазовые установки 63
2.4.2 Ферментеры 68
ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ЖИВОТНОВОДЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА 74
3.1 Разработка технологических решений по переработке отходов АПК с получением биогаза и удобрений 74
3.2 Анализ эколого-экономической эффективности предлагаемого комплекса переработки отходов АПК 92
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 104
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 108
ПРИЛОЖЕНИЕ А 114
ПРИЛОЖЕНИЕ Б 121

ВВЕДЕНИЕ

Одним из направлений экономического развития общества является развитие ресурсосберегающих технологий. Такие технологии, обеспечивают производство продукции с минимально возможным потреблением топлива и других источников энергии, а также сырья, материалов, воздуха, воды и прочих ресурсов для технологических целей. Они включают в себя использование вторичных ресурсов, утилизацию отходов, а также рекуперацию энергии, замкнутую систему водообеспечения. Позволяют экономить природные ресурсы и избегать загрязнения окружающей среды.

Грамотное употребление отходов от сельского хозяйства - глобальная и важная проблема в нашем мире. С одной стороны она связана, с возможностью утилизации энергии биомассы и получением из неё жидкого и газообразного топлива (биогаза), с другой стороны способствует предотвращению загрязнения водных объектов, заражения почвенного покрова земли патогенными микроорганизмами и гельминтами, которые находятся в навозных стоках животноводческих ферм [47].

Многие ученые утверждают, что существенный ущерб природе идет от животноводства. Каждый год на фермах накапливаются тонны навозной и пометной массы. У многих производств отсутствует установки для очистки сточных вод - все это пагубно влияет на состояние окружающей среды. Для того, чтобы предотвратить нитратное и микробное загрязнение почв, воздуха, окружающей растительности, поверхностных и грунтовых вод, нужно соблюдать технологии переработки и складирования животноводческих отходов. Навоз содержит многие болезнетворные бактерии. При накоплении отходов без переработки – они могут быть источниками негативного воздействия на человека и животных и приводить к различным заболеваниям [64].

Большой ущерб окружающей среде возможен от крупных животноводческих производств. Чтобы следовать современным тенденциям

данные производства должны модернизироваться. Большинство таких предприятий устанавливают биогазовые установки, основанные на получении биогаза и биоудобрений путём анаэробного сбраживания отходов животноводства под воздействием микроорганизмов. Производство биогаза помогает предотвратить выброс метана в атмосферу, самым лучшим способом предотвращения глобального потепления является улавливание метана. Потребление такого газа снижает воздействие метана [78].

Основная деятельность животноводческих ферм и птицефабрик наряду с производством мяса, молока, яиц и продуктов их переработки, должна быть направлена на экологизацию производства и перевод предприятий на безотходные технологии.

В целом ферментация органических отходов может удовлетворить немалую часть энергетических потребностей населения и способствовать ресурсосбережению. Биоэнергетические установки позволяют экономить ресурсы и снимают часть энергетического дефицита в сельскохозяйственных районах, в сфере мелкой промышленной деятельности, в быту, и могут стать существенным элементом в системе региональной энергетической и экологической стратегии.

Актуальность работы. Проблема утилизации отходов животноводческих комплексов является особенно актуальной и не решённой в России и в Самарском регионе. В настоящее время вокруг многих животноводческих и птицеводческих предприятий скапливается большое количество навозных и пометных масс, которые при правильном решении проблемы их утилизации могут дать дополнительную прибыль и, одновременно, превратить хозяйства в практически безотходные производства. А пока, функционирование крупных животноводческих, птицеводческих комплексов и ферм ставит под угрозу экологическое благополучие окружающей среды в силу отсутствия организованной работы по утилизации органических отходов. Хотя помет животных и птиц в своём

составе содержат большое количество опасных веществ (NH_3, H_2S, и т.д.). В то же время навоз и птичий помет являются ценными органическими удобрениями, так как в них содержатся все необходимые для питания растений элементы, причём в благоприятном сочетании. Поэтому актуальной задачей на сегодняшний день является поиск эффективных технологических решений по переработке отходов животноводства и получения полезной энергии и продуктов.

Из применяемых технологий в России наиболее распространенный и апробированный способ переработки отходов животноводства производство биогаза методом анаэробного сбраживания. Недостаточно внимания уделяется другим способам переработки отходов, среди которых весьма перспективной является технологии компостирования и получения органоминеральных удобрений из отходов.

Проблема исследования: увеличение уровня антропогенной нагрузки в результате накопления отходов животноводства в условиях увеличения их мощностей при отсутствии эффективных способов утилизации данных видов отходов.

Проблема исследования определяет тему работы: «Разработка технологических решений по утилизации отходов животноводства с получением полезной энергии и удобрений».

Цель работы – снижение уровня антропогенной нагрузки на окружающую среду от отходов животноводческих комплексов за счет разработки технологий получения органоминеральных удобрений и попутного биогаза.

Объект исследования – технологии переработки отходов животноводства.

Предмет исследования: разработка технологии переработки отходов животноводства в органоминеральные удобрения и биогаз.

Для осуществления цели работы поставлены следующие **задачи исследования**:

1. Проанализировать проблемы в области обращения с отходами животноводства и их негативного воздействия на окружающую среду.
2. Провести анализ существующих технологий и установок переработки отходов животноводства и способов получения из них биогаза и органоминеральных удобрений.
3. Разработать технологическую схему получения органоминеральных удобрений и попутного биогаза из отходов животноводства.
4. Рассчитать эколого-экономическую эффективность разрабатываемого технологического комплекса.

Научная новизна. Разработанная технология рассматривается, как явная и перспективная альтернатива существующим технологиям по переработке отходов животноводства

Теоретическую и методологическую основу данного исследования составляют анализ существующей проблемы загрязнения окружающей среды отходами животноводства, а также анализ современных технологий переработки органических отходов и научное обоснование наиболее эффективных технологических решений.

Практическая значимость работы. Результаты исследований могут послужить практической основой для использования предлагаемых технологий на животноводческих комплексах с получением высокого экономического и экологического эффектов, при извлечении новых ресурсов и энергии из отходов и снижения их антропогенной нагрузки на окружающую среду в результате вторичного использования.

Научная обоснованность и достоверность научных положений подтверждается анализом научной литературы и практической обоснованностью принятых решений.

ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ ЖИВОТНОВОДСТВА

1.1 Потенциал биоэнергетики и биоэнергетические источники России

Энергетическое содержание производимых в мире сельскохозяйственных отходов составляет $93*10^{18}$Дж./год. Допуская, что только 25% из них можно реально использовать, то такие отходы могут обеспечить около 7% мировой энергии. Городские твердые отходы (твердые бытовые отходы, ТБО) также могут быть важным источником энергии. Если считать, что, в среднем, ТБО содержат 60-65% органических веществ растительного и животного происхождения, то по аналогии с фотосинтетической биомассой ежегодное содержание энергии в ТБО может составлять $4\text{-}6*10^{18}$Дж. Ежегодный прирост биомассы на земле составляет 220 млрд. тонн [51].

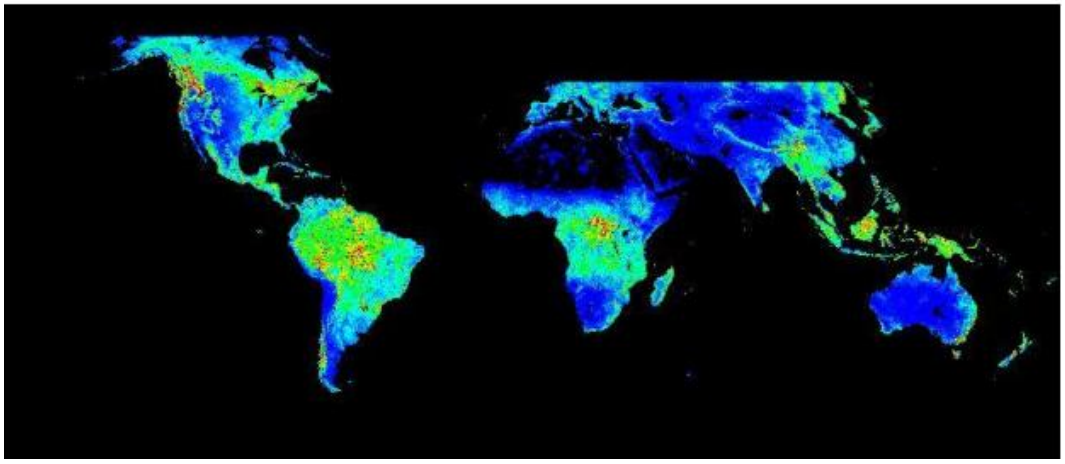


Рисунок 1 – Распределение биомассы в мире (земная биомасса – зеленая окраска)

Использование отходов птицеводства, животноводства, растениеводства и жизнедеятельности человека, а также вторичных ресурсов как альтернативных и возобновляемых источников тепловой и электрической

энергии давно является одним из важнейших направлений в энергетической стратегии многих стран мира. Особое внимание уделяется развитию технологий получения биогаза. С 70-х годов в Китае начала действовать национальная программа по добыче биогаза и уже через 10 лет в стране работало более 10 млн. фермерских биореакторов, производивших ежегодно 1,3 млрд. куб. м. биогаза, что позволило обеспечить теплом 35 млн. человек. Кроме малых фермерских установок, в Китае работает 40 тыс. больших и средних биогазовых станций и 24 тыс. биогазовых очистительных реакторов для обработки городских бытовых отходов. На биогазе работает 190 электростанций. Свыше 60 % всего автобусного парка страны, в том числе около 80 % в сельской местности, работают на биогазовых двигателях. Китай экспортирует как сам биогаз, так и двигатели на основе этого топлива более чем в 20 стран мира [34].

Весьма интенсивно биогазовая отрасль развивается и в других странах Азии. Так, в Индии насчитывается около 3-х миллионов биогазовых установок различной производительности, в Непале — около 100 тыс. биогазовых установок [52].

Ограниченность запасов ископаемого углеводного сырья заставила также и многие развитые страны Америки и Европы активизировать исследования в области альтернативных энергосберегающих технологий и возобновляемых источников энергии. Понимая важность и эффективность использования биогаза, в США принят закон о необходимости оборудования всех без исключения полигонов твердых бытовых отходов системами добычи и утилизации биогаза. В настоящее время на территории США работает 10 крупных биогазовых заводов [15].

Специалисты в области энергетики считают, что биогазовая технология способна покрыть до 15 % энергетических потребностей Германии. В Швеции на биогазовом топливе работают сотни автомобилей и автобусов. Благодаря биогазу потребности западноевропейского животноводства в

топливе за последние 10 лет сократились более чем на треть, при этом биогазом отапливается не менее половины всех птицефабрик.

В настоящее время в Европе насчитывается более 800 энергетических комплексов, в том числе 24 крупных. В целом в 2010 году в странах ЕС за счет применения биогаза намечено получить дополнительной энергии в размере 15 млн. тонн нефтяного эквивалента. Активно развивается биогазовая отрасль в ЮАР, Австралии, Канаде, Японии и в странах Латинской Америки [25].

На протяжении 70…80-х годов осуществлялись практические мероприятия, направленные на разработку установок по получению биогаза. Основное внимание при этом уделялось не столько энергетическому аспекту использования биогаза, сколько получению при анаэробной ферментации высокоэффективных удобрений. Энергетический потенциал биогаза в произведенных промышленностью установках направлялся на поддержание температурного режима процесса ферментации.

В последнее пятилетие в России началось постепенное возрождение биогазовой отрасли. В настоящее время в стране существует ряд предприятий, производящих биогазовые установки различной мощности с рабочим объемом от 5 до 5000 куб.м. как для фермерских хозяйств, так и для крупных сельскохозяйственных объединений. Общее количество действующих установок составляет несколько десятков. Главным фактором, препятствующим развитию производства биогаза, является инертность мышления и традиционное отсутствие денежных средств на закупку оборудования, хотя сроки его окупаемости невелики и составляют 1−2 года.

В настоящее время в России уже имеется определенный опыт по проектированию и строительству биоэнергетических комплексов для животноводческих ферм, птицефабрик, станций биологической очистки сточных вод. Разработаны проекты и изготовлены образцы автономных мини ТЭЦ, работающих на биогазе [24].

В основном все федеральные округа России располагают основными возобновляемыми источниками энергии (энергия солнца, энергия ветра, малая гидроэнергетика, энергия биомассы, за исключением термальных вод) и имеют потенциально необходимые возможности для создания интегрированных энергетических комплексов. Такие комплексы могут использоваться для производства тепловой и электрической энергии, моторного топлива для полного обеспечения населения (быт и производство) любым видом топлива и энергии и решения всех социальных проблем сельского населения любого региона России. Эти источники по объему составляют примерно 30% от объема потребления топливно-энергетических ресурсов в России, составляющего 916 млн т.у.т. в год, что создает благоприятные перспективы решения энергетических, социальных и экологических проблем в будущем [12]. Оценка потенциала различных возобновляемых источников энергии в России представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Общие данные по валовым ресурсам возобновляемых источников энергии по Федеральным округам РФ

Федеральный округ	**Вид ресурсов**						
	Солнечная энергия, млрд. т.у.т.	**Энергия ветра, млрд. т.у.т.**	**Малая гидроэнергетика, млн. т.у.т.**	**Энергия биомассы**			
				Отходы			**Торф**
				ЛПК	**АПК**	**ЖКХ**	
Северо-западный	178,2	58,8	54,55	8,6	1,7	1,095	2900,9
Центральный	84,9	9,8	2,9	1,5	14,5	3,22	760,7
Южный, вкл СКФО	100,7	24,0	20,6	0,37	24,8	1,956	0,3
Приволжский	**140,8**	**32,1**	**11,9**	**4,24**	**24,9**	**2,65**	**413,8**
Уральский	215,6	219,9	45,9	4,23	3,35	1,049	2534,0
Сибирский	672,0	205,8	147,9	18,13	11,82	1,48	3632,5
Дальневосточный	813,2	335,8	153,7	11,4	0,73	0,56	510,5

Неравномерность распределения возобновляемых источников энергии по регионам позволяет создавать энергетические кластеры с различной комбинацией возобновляемых источников.

Потенциальные объемы производства биотоплива из биомассы в России в ближайшие десятилетия могут составить в год около 1500 млн. т.у.т./год, и не будут уступать объемам ежегодной добычи нефти, угля или природного газа, годовой энергобаланс России – более 1600 млн. т.у.т.).

Основными источниками российской энергетической биомассы являются:

- органические отходы агропромышленного комплекса с энергосодержанием до 80 млн. т.у.т./год;
- органические отходы лесопромышленного комплекса (при условии использования современных технологий лесопроизводства и деревообработки) с энергосодержанием до 1 млрд. т.у.т./год; (весь лесной запас – 20 млрд. т.у.т.);
- отходы городов (сточные воды и твердые бытовые отходы);
- торф (всего - 60 млрд. т.у.т. 10,7 млрд. т.у.т. промышленный фонд, 100 млн. т.у.т./год);
- биогазификация остаточной нефти.

Оценка объемов органических отходов в АПК и ЛПК, проведенная Институтом энергетической стратегии, позволила установить, что универсальными для всех регионов России видами биотоплив являются пеллеты (гранулы, брикеты) и биогаз [52].

В таблице 2 приведены данные по качественному составу биоэнергетического сырья, количественно выраженного в тоннах условного топлива, что позволяет определить не только типы биоэнергетических технологий для производства того или иного вида биотоплива, но и возможное их ежегодное производство по каждому региону России.

Ежегодное производство отходов, генерируемых российским агропромышленным комплексом, составляет около 773 млн. т, (260 млн. т по сухому веществу): 350 млн. т (53 млн. т с.в.) – животноводство, 23 млн. т (5.75 млн. с.в.) – птицеводство, 220 млн. т (150 млн. т с.в.) – растениеводство, 30 млн. т (14 млн. т с.в.) - отходы перерабатывающей промышленности [54].

Таблица 2 – Распределение видов биосырья по Приволжскому Федеральному округу

Регион	**Виды сырья для биоэнергетики России**			
	Лесная биомасса, млн. т.у.т	**Отходы деревопереработки, тыс.т.у.т/год**	**Отходы АПК и ЖКХ общие, тыс.т.у.т/год**	**ТОРФ промышленный фонд, млн. т.у.т**
	Приволжский федеральный округ			
Всего	24,1	1835,0	27533,6	413,84
Республика Башкортостан	5,1	158,0	3898,3	25,48
Республика Марий-Эл	0,8	77,5	374,2	40,27
Республика Мордовия	0,2	18,5	747,9	2,91
Республика Татарстан	0,8	106,5	3819,7	8,21
Удмуртская Республика	1,3	88,0	848,3	31,42
Чувашская Республика	0,5	22,5	849,6	1,91
Кировская обл.	4,7	374,5	925,1	144,39
Нижегородская обл.	2,1	252,5	1233,9	67,28
Оренбургская обл.	0,2	17,5	2193,4	0,28
Пензенская обл.	0,6	57,0	5657,8	3,92
Пермский Край	6,7	569,5	945,3+78,29	49,54+30,39
Самарская обл.	0,3	24,0	**1694,7**	3,25
Саратовская обл.	0,1	26,0	3470,2	0,25
Ульяновская обл.	0,7	43,0	792,9	4,34

Мировой опыт свидетельствует о том, что более экономично перерабатывать отходы АПК централизованно, чтобы сократить транспортные плечи и снизить нерациональные экономические и энергетические (моторное топливо) затраты. И в рассматриваемом случае у современной России имеется блестящая возможность использовать заброшенные пашни под создание энергетических плантаций. Таких площадей около 40 млн. гектар. Но как показывают расчеты, при культивировании топинамбура для производстве биогаза и этанола для моторного топлива для всего российского АПК необходимо всего около 3-х млн. га, для автопарка всего РФ – 15 млн. га. [52].

Рисунок 2 – Потенциальные возможности производства биогаза из органических отходов АПК по Федеральным округам

Комментарии к рисунку: СФО – 3,5 млрд. куб. м, ЦФО – 12,1 млрд. куб. м, ЮФО – 42,4 млрд. куб. м, ПФО – **18,33** млрд. куб. м, УФО – 3,1 млрд. куб. м, СФО – 11,1 млрд. куб. м, ДВФО – 1,18 млрд. куб. [6].

Применяя процесс анаэробной переработки, можно получить около 66 млрд. $м^3$ биогаза (эквивалентны 33 млрд. л бензина-дизтоплива или 110 млрд. кВт/ч электроэнергии и 1 млрд. ГДж тепла) и около 112 млн. т высококачественных гранулированных удобрений [4,6].

Получение биогаза экономически оправдано и является предпочтительным при переработке постоянного потока отходов (стоки животноводческих ферм, скотобоен, растительных отходов и т.д.). Экономичность заключается в том, что нет нужды в предварительном сборе отходов, в организации и управлении их подачей; при этом известно, сколько и когда будет получено отходов. Получение биогаза, возможное в установках самых разных масштабов, особенно эффективно на агропромышленных комплексах, где существует возможность полного экологического цикла.

Биогаз используют для освещения, отопления, приготовления пищи, для приведения в действие механизмов, транспорта, электрогенераторов. Подсчитано, что годовая потребность в биогазе для обогрева жилого дома составляет около 45 $м^3$ на 1 $м^2$ жилой площади, суточное потребление при подогреве воды для 100 голов крупного рогатого скота – 5–6 $м^3$. Потребление биогаза при сушке 1 т сена влажностью 40 % равно 100 $м^3$, 1 т зерна – 15 $м^3$, для получения 1 кВт·ч электроэнергии – 0,7–0,8 $м^3$ [22].

В настоящее время получение биогаза связано, прежде всего, с переработкой и утилизацией отходов животноводства, птицеводства, растениеводства, пищевой, спиртовой промышленности, коммунально-бытовых стоков и осадков.

Анализ литературных источников и патентный поиск показал, что проблемами разработки биогазовых технологий, созданием оборудования, установок и станций занимаются несколько организаций России: Мосводоканал, Академия коммунального хозяйства, ВИЭСХ, ЦВНИИКОМЖ, и вновь созданные фирма: АО Центр «ЭкоРос» [53].

1.2 Проблема негативного воздействия отходов животноводства на окружающую среду

В настоящее время остро стоит вопрос утилизации образующихся на животноводческих предприятиях отходов производства и потребления, подготовки, переработки получаемого на комплексах огромных объемов навоза и навозных стоков, являющихся потенциальными источниками антропогенного воздействия на окружающую среду.

В конце XX века увеличение большого поголовья скота в животноводческих хозяйствах в связи с переводом животноводства на промышленную основу носило глобальный характер и отмечалось во многих странах мира. Так, в России, Румынии, Италии были построены животноводческие комплексы-гиганты производительностью 108 и 216 тыс. свиней в год [6].

Свиноводство в Российской Федерации - одно из основных отраслей животноводства. В конце XX века в нашей стране насчитывалось около 2300 крупных и средних животноводческих ферм и комплексов.

Основными источниками загрязнения окружающей среды (воздух, почва, вода) от животноводческих комплексов и ферм являются воздушные выбросы и жидкие стоки.

Воздушные выбросы животноводческих ферм оказывают существенное влияние не только на атмосферу, но и на поверхностные воды.

На животноводческих комплексах, особенно свиноводческих, основным источником загрязнения окружающей атмосферы являются помещения для содержания животных.

Запах от животных действует на людей раздражающе, хотя считается безвредным. Неприятные запахи распространяются в радиусе 5-17 км.

Как правило, экологический мониторинг состояния атмосферного воздуха в зонах влияния животноводческих объектов не проводится, тем не менее, влияние на окружающую природную среду токсических газов от

животноводческих комплексов можно оценить при помощи биологических объектов в частности растений, произрастающих вблизи них [12].

Таблица 3 – Состояние атмосферного воздуха в зонах влияния животноводческих объектов (содержание NH_3 в воздухе)

Показатели	Свинокомплекс на 108 тыс.	Комплекс на 1800 тыс.
Содержание NH_3 в воздухе: на расстоянии 2,5 км от комплекса	0,44 мг/м^3	0,32 мг/м^3
На расстоянии 3,5 км от комплекса	0,22 мг/м^3	0,19 мг/м^3
На расстоянии 5,0 км от комлпекса	0,18 мг/м^3	0,12 мг/м^3

Следовательно, негативное влияние сельскохозяйственных объектов животноводства на окружающую среду происходит не только на почвы, воды (поверхностные водоисточники в зонах загрязнения сельскохозяйственными отходами), но также и атмосферный воздух. Необходимо развивать технологии обезвреживания отходов животноводства и их переработки с получением полезной энергии и новых продуктов.

1.3 Физико-химические свойства органических отходов животноводства как субстрата анаэробной переработки

В результате текущей деятельности животноводческих ферм, органические отходы в виде навозных стоков, получают в следующих видах:

- подстилочный навоз концентрацией сухих веществ 12–15%, с содержанием древесных опилок и срезанной соломы до 4%. Это обусловлено на подстилочном содержании коров и применением механическим удалением навоза из помещений;
- полужидкий навоз с концентрацией сухих веществ 8%, обусловленный бесподстилочным содержанием животных и применением самосплавном способе удаления навоза;

– жидкий навоз с концентрацией сухих веществ до 3-4%, получаемом при бесподстилочном содержании животных и гидравлическом способе его удаления с применением минимального количества вод;
– навозные стоки с концентрацией сухих веществ 1-2% образуются в целях обеспечения санитарных требований, когда вода применяется для промывки мест содержания животных, навоз удаляется гидравлическим способом из скотомест и навозных стоков, на крупных животноводческих фермах.

Рисунок 3 – Свойства сбраживаемого субстрата

В этой связи, поступающий в анаэробную биогазовую установку субстрат по своему физическому составу является многофазной коллоидно-полидисперсной средой, основными частями которой являются твердые и жидкие выделения животных, остатки корма, технологическая вода и газ, образующийся в результате биохимических процессов [29].

Одним из обязательных условий жизнедеятельности метаногенных микроорганизмов является наличие свободной воды в субстрате - более

жидкая среда способствует более полному разложению органических веществ. Оптимальная величина концентрации органических веществ, при которой осуществляется сбраживание, в биореакторе является 5-20 %.

Эффективность процесса анаэробной переработки во много зависит от состава субстрата. Классификация свойств субстрата для анаэробной переработки, основанная на классификации свойств самого навоза и во многом определяются его составом, подразделяется на физические, химические, биологические, коррозионные [11].

Реологические свойства субстрата на основе органических отходов животноводства характеризуются текучестью, которая определяется динамической вязкостью и предельным напряжением сдвига. Попадающие в навоз безвозвратные потери корма ухудшают текучесть субстрата.

Текучесть зависит от степени гомогенизации навоза, то есть от степени перемешивания кала и мочи. С увеличение влажности от 92-98%, коэффициент динамической вязкости уменьшается от 23 до 20 Па*с, предельное напряжение сдвига от 1,7 до 0,2 Па. Уменьшение вязкости по мере разбавления водой и повышения температуры является одной из основных причин изменения скорости расслоения. Это приводит к образованию осадочного и плавающего слоев с высоким содержанием твердых частиц. Исходный навоз для субстрата одной и той же влажности при скармливании животным кормов с высоким содержанием клетчатки и низким содержанием протеина имеет большую вязкость [81].

Таблица 4 – Состав отходов животноводства, % к сухому веществу

Компонент	КРС	Дойные коровы	Свиньи	Куры
Органика	77÷88	77÷85	77÷84	76÷77
Азот (N_2)	2,3÷4,0	1,9÷6,5	4,0÷10,3	2,3÷5,7
Фосфор (P)	0,4÷1,1	0,2÷0,7	1,9÷2,5	1,0÷2,7
Калий (K)	1,0÷2,0	2,4	1,4÷3,1	1,0÷2,9
Кальций (Ca)	0,6÷1,4	2,3÷4,9	-	5,6÷11,9
Сырая клетчатка	27,6÷50,6	27,6÷50,6	19,5÷21,4	13,0÷17,8
Лигнин	13,0÷30,0	16,0÷30,0	-	9,6÷14,3
C/N	9÷15	9÷15	9÷15	9÷15

Анализ смеси характеризуются наличием сухого элемента. Сухой элемент состоит из органической части и неорганической. Элемент смеси включает в себя основные: жиры, углеводы, и белки структурные материалы - лигнин, целлюлоза, гемицеллюлоза, клетчатка. В тоже время в сухом соединении присутствуют - Мп, Cu, Ca, Zn. Живая органика скота содержит 60-80% азота, в растениях которых хорошо усваиваются. Соединения могут находится в стойком, растворённом, коллоидном состоянии и могут переходить из одного состояния в другое. Аммиак является водянистой формой азота. Он образуется в анаэробных условиях. В навозе содержится фосфор органических соединений, который так важен для растений. Содержащийся в смеси калий представляет растворимую форм [23].

Субстрат коррозии определяется составом коррозионно-активных веществ (растворяющей извести, углекислоты, сульфатной и сульфидной серы, аммонийного азота, хлоридов). Ускоренность данного процесса зависит от влажности материала.

Синтез свойств смеси на основании органики живых существ используемых для данного процесса делает следующие заключения:

- на сегодняшний день химические, биологические, и физические свойства субстрата на основе органики отходов животных, которые имеют влияние на утилизацию;
- до настоящего времени не изучены реологические свойства субстрата: кинематическая вязкость и поверхностное натяжение.

1.4 Теоретические аспекты анализа метанового сбраживания на животноводческих фермах

Основными органическими отходами в сельском хозяйстве относятся - экскременты животных и растительные материалы. К растительным относятся: солома, свекольная и картофельная ботва и другие растительные

отходы. Все органические материалы в дальнейшем могут использоваться как растительные удобрения, тем самым заменяют минеральные удобрения, которые очень затратные [48].

Таблица 5 – Теплота сгорания различных органических материалов и видов топлива

Органические отходы	**Массовая доля органики в сухом веществе, %**	**Теплота сгорания Q_H, МДж на 1 кг сухого вещества**
Отходы растительного происхождения	95÷98	16÷19
Экскременты крупного рогатого скота	77	18÷19
Экскременты свиней	80	18÷19
Экскременты кур	77	14÷16
Вид топлива	Источник получения	Теплота сгорания Q_B, МДж/м^3
Биогаз	Экскременты животных с добавлением растительных остатков или без них	20÷25
Генераторный газ	Дерево, солома	5÷7
Пиролизный газ	Экскременты животных	18÷20
Светильный газ		18÷20
Природный газ		33÷38
Метан		36
Пропан (газообразный)		93
Дизельное топливо, котельное топливо, бензин		41÷45 МДж/кг
Пропан сжиженный		46
Каменный уголь		30÷33
Дрова		14÷19

Данные о ежегодном количестве экскрементов животных, получаемом в сельском хозяйстве ФРГ, приводятся в таблице 6.

Таблица 6 – Суточные нормы выхода экскрементов от одного животного (по данным ОНТП 17—86)

Производственные группы крупного рогатого скота	Выход экскрементов, кг	Производственные группы свинопоголовья	Выход экскрементов, кг
Быки-производители	40	Хряки-производители	11,1
Коровы	55	Свиноматки: Холостые Супоросные Подсосные с приплодом	 8,8 10,0 15,3
Телята от 4 до 6 месяцев на откорме	7,5	Поросята-отъемыши	2,4
Молодняк ремонтный, мес: 4÷6 12 ÷ 18 и недели	 14 27	Свиньи на откорме и ремонтный молодняк живой массы, кг: до 40 40 - 80 более 80	 3,5 5,1 6,6
Молодняк на откорме, мес: 4÷6 6÷2 старше 12	 14 26 35		

В таблице 7 приведены отходы растительного происхождения.

Таблица 7 – Отходы растительного происхождения

Показатель	Крупный рогатый скот		Свиньи, комплекс на 108 тыс.голов	Овцы	Куриный помет
	комплекс на 10 тыс.бычков	комплекс на 2 тыс.коров			
Сухое вещество	14,5	10,0	9,8	28,3	36,0
Азот общий	0,77	0,43	0,72	0,95	2,10
Фосфор (P_2O_5)	0,44	0,28	0,47	0,22	1,44
Калий (K_2O)	0,76	0,40	0,21	0,75	0,64

Благодаря повышенной теплоте сгорания таблица 3 - эти материалы обладают также энергетическим потенциалом, который используется различными способами. К одному из них относится производство биогаза, которое имеет высокую энергию сбраживания.

Анаэробная переработка считается перспективным методом и представляет большой практический интерес по переработке органических отходов животноводства, поскольку ускоряет его разложение в 10 раз и более по сравнению с традиционным перепреванием в буртах. В результате процесса сбраживания распаду подвергаются органические вещества, содержащиеся в навозе, с образованием газообразных продуктов в виде смеси 50 ÷ 70 % метана и 30÷50% углекислого газа (биогаза) с теплотворной способностью 21 – 25 МДж/м. При этом они частично или полностью обеззараживается, дегельминтизируется и дезодорируется. Для обеспечения процесса необходимо поддержание температурного режима, затраты на который можно восполнить путем утилизации выделившегося биогаза [32].

Метановое сбраживание приводит к минерализации биогенных веществ (азот, фосфор, калий), и, практически, к полной утилизации без попадания в окружающую среду. Биометаногенез позволяет перерабатывать органические вещества с более высокими нормами нагрузки, чем при аэробной обработке, не требует применения химических реагентов для разложения органического вещества. Анаэробная переработка позволяет не только покрывать затраты энергии на ведение процесса, но и получать избыточное ее количество. Получаемая энергия в виде биогаза удобна для пользователя, так как ее можно преобразовать в тепловую, электрическую и механическую. Сброженный шлам, полученный в процессе переработки, лишен неприятного запаха и готов к непосредственному внесению в почву. Технологию анаэробной переработки навоза применяют и для очистки сточных вод предприятий и городов, так как она имеет ряд достоинств по сравнению с распространенным химическим способом, например,

биологическая очистка потребляет в 2 раза меньше энергии и в 6 раз дешевле [8, 64].

Анаэробная переработка отходов животноводства дает возможность снизить расходы электроэнергии на ведение процесса, но и вынимать излишнее ее количество. Полученную энергию, на примере, биогаза комфортна для пользователя. Такую энергию можно менять в тепловую, электрическую и механическую. В процессе переработки, шлам лишен малоприятного запаха и удобно вносить в почву. Процесс анаэробной обработки навоза включает четыре взаимосвязанные стадии, осуществляемые разными группами бактерий [65].

Данный процесс подразделяется на четыре стадии:

1. **Стадия ферментативного гидролиза** осуществляется быстрорастущими факультативными анаэробами, выделяющими экзоферменты, при участии которых осуществляется гидролиз нерастворенных сложных органических соединений с образованием более простых растворенных веществ. Оптимальное значение pH для развития этой группы бактерий находится в интервале 6,5-7,5.
2. **Стадия кислотообразования (кислотогенная)** сопровождается выделением летучих жирных кислот, аминокислот, спиртов, а также водорода и углекислого газа. Стадия осуществляется быстрорастущими, весьма устойчивыми к неблагоприятным условиям среды гетерогенными бактериями.
3. **Ацетатогенная стадия** превращения ЛЖК, аминокислот и спиртов в уксусную кислоту осуществляется двумя группами ацетатогенных бактерий. Первая группа, образующая ацетаты с выделением водорода из продуктов предшествующих стадий, называется ацетатогенами, образующими водород.
4. **Метаногенная стадия**, осуществляемая медленнорастущими бактериями, являющимися строгими анаэробами, весьма

чувствительными к изменениям условий среды, особенно к снижению pH менее 7,0 - 7,5 и температуры.

Аэробная стабилизация заключается в продолжительном аэрировании ила в аэрационных сооружениях типа аэротенков-стабилизаторов. Этот процесс проще анаэробного сбраживания, отличается простотой, устойчивостью, взрывобезопасностью, малыми капитальными затратами. Недостаток - высокие энергетические затраты. В результате аэробной стабилизации происходит распад (окисление) основной части биоразлагаемых органических веществ до CO_2, H_2O и NH_3. Оставшиеся органические вещества теряют склонность к загниванию, т.е. стабилизируются.

В переработке принимают участие 5 групп бактерий. В основном принадлежат ферментативные бактерии – Bacillus, Micrococcus, Pseudomonas, Clostridium, они исполняют этапы ферментативного гидролиза и кислотообразования. Все бактерии обладают быстрым ростом. Микроорганизмы выделяют экзоферменты, которые осуществляют гидролиз, разложение сложных соединений на простые. Размножение бактерий происходит при наличии питательной среды, в которую входят углерод и кислород [24].

Результаты исследований ряда ученых показывают, что для успешного процесса метаногенеза важна стабильная температура сбраживания, а изменение температуры влияет не только на скорость процесса, но и на количественный состав образующихся продуктов. Наибольшее практическое применение получил термофильный режим (50-55°С) сбраживания, ввиду его максимального энергетического эффекта. В средней части России, в виду сложных климатических условий, в основном применяется менее энергоемкий мезофильный режим (30-35°С). Так же для северных территорий разработана технология с применением психофильного режима (10-25°С) сбраживания. Однако, к перепадам температуры, в особенности к

ее внезапным понижениям, микроорганизмы всех групп весьма чувствительны и реагируют на это снижением метаболической активности и способности к воспроизведению. Анализ источников показал, что при термофильном режиме допустимое колебание температур 1°С, а при мезофильном 2,8 °С [13, 8].

Преимущество анаэробного метода состоит в том, что, в отличие от классических аэробных способов биологической переработки, когда все бактерии функционируют в одних и тех же условиях, в правильно организованном анаэробном процессе бактерии разделены - они работают при различных физико-химических условиях. Это позволяет оптимизировать процесс анаэробного сбраживания по производительности, получить возможность управления им, в конечном счете, повысить качество переработки и стабилизации отходов.

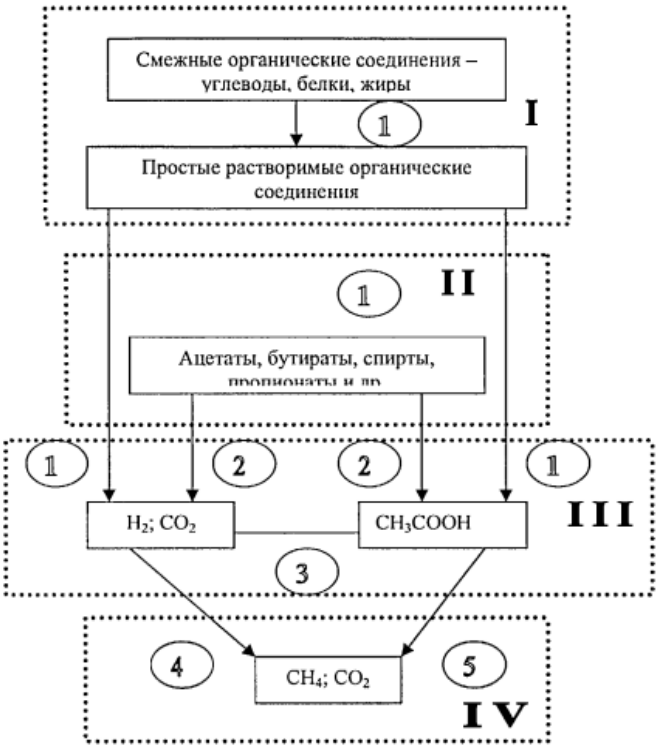


Рисунок 4 – Схема анаэробной переработки органических отходов

На крупных свиноводческих комплексах при высокой концентрации поголовья на ограниченной территории и использовании вод для удаления

навоза из производственных помещений в течение суток образуется от 500 до 10 000 $м^3$ животноводческих сточных вод, которые содержат в больших количествах органические вещества и нередко бывают заражены патогенными бактериями (сальмонеллами, лептоспирами, микобактериями туберкулеза и др.), яйцами гельминтов, длительное время сохраняющих жизнеспособность и вирулентные свойства [59].

Вредное влияние длительного воздействия отходов животноводства на почвенные экосистемы сказывается на протяжении десятилетий после прекращения деятельности свинокомплексов.

Вместе с тем, проводимые санитарно-гигиенические исследования почв не дают представления о физиологическом состоянии почвенных экосистем; способности почв к самоочищению.

В странах Европейского Союза насчитывается около 116 млн. голов свиней, в том числе в Германии 20%, в Испании – 16%, во Франции 13%, в Нидерландах – 12% и в Дании 10%. За последние годы резко увеличилась численность свиней и производство мяса в Азии, производство свиней в этом регионе увеличилось с 30 до 53%. Ведущее место по свиноводству занимает Китай, где имеет место значительное увеличение этой отрасли, за 15 лет при росте поголовья на 35%, производство мяса возросло в 3,2 раза [78].

По массивности бактериального загрязнения почвы, воздуха и водных ресурсов животноводческие комплексы сопоставимы с предприятиями самого высокого класса вредности. В районе их размещения сильно загрязняется патогенными микроорганизмами и гельминтами почва сельскохозяйственных полей, орошаемая сточными водами. А.Н. Иванов определил, что в слое такой почвы толщиной до 20 см летом постоянно обнаруживаются до 20-25 яиц трихоцефалов на 1 кг почвы. Общая бактериальная обсемененность составляет $2*10^6$ микробных тел/г, а колититр равен 0,001. Другие исследователи показали, что в 9,2% исследуемых проб почвы таких полей постоянно обнаруживаются сальмонеллы [44].

В сточных водах животноводческих хозяйств, особенно свиноводческих, обнаруживаются различные патогенные и условнопатогенные микроорганизмы, а именно: энтерококки, стафилококки, псевдомонады, гемофильные палочки. В неочищенных стоках количество сальмонелл может доходить до 334 тысяч на один литр пробы, составляют от 3,3% до 36,9%.

По данным Всесоюзного института гельминтологии поступающая на поля орошения жидкая фракция навоза содержит большое количество яиц гельминтов, которые на глубине пахотного слоя почвы сохраняют инвазионность (около 30%) более двух лет, при хранении жидкого навоза в навозонакопителях яйца гельминтов сохраняют жизнеспособность более года.

Одной из наиболее важных сторон проблемы загрязнения окружающей среды отходами крупных животноводческих комплексов и ферм промышленного типа, птицефабрик является загрязнение поверхностных и грунтовых вод.

При попадании сточных вод в водоемы возбудители инфекций могут переноситься с потоком речной воды на расстояние до 200 км, потребление воды из таких водоемов вызывает у людей и животных кишечно-желудочные и другие заболевания.

Помимо загрязнения водных источников отходы свиноводства и птицеводства влияют на почвы. Поэтому в зонах влияния животноводческих объектов проводятся санитарно-гигиенические исследования почв в целях проведения их обеззараживания и мелиорации.

Загрязнение почвы происходит и вследствие целенаправленного внесения химических веществ: минеральных удобрений, пестицидов, мелиорантов, сточных вод и т.д.

ГЛАВА 2. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ, ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ЖИВОТНОВОДСТВА

2.1 Анализ технологий переработки отходов животноводства

Важной задачей любого биотехнологического процесса является разработка и оптимизация научно-обоснованной технологии и аппаратуры для него. При организации биотехнологических производств нужно учитывать, что биотехнологические процессы имеют существенное отличие от химических в силу того, что в биотехнологии используют более сложную организацию материи – биологическую. Каждый биологический объект (клетка, фермент) – это автономная саморегулирующаяся система. Природа биологических процессов сложна и далеко не выяснена окончательно. Для микробных популяций, например, характерна существенная гетерогенность по ряду признаков – возраст, физиологическая активность, устойчивость к воздействию неблагоприятных факторов среды. Они также подвержены случайным мутациям, частота которых составляет от 10^{-4} до 10^{-8}. Гетерогенность также может быть обусловлена наличием поверхностей раздела фаз и неоднородностью условий среды [33].

В общем виде любой биотехнологический процесс включает три основные стадии: *предферментационную, ферментационную и постферментационную.*

Стадия ферментации является основной стадией в биотехнологическом процессе, так как в ее ходе происходит взаимодействие продуцента с субстратом и образование целевых продуктов (биомасс, эндо- и экзопродуктов). Эта стадия осуществляется в биохимическом реакторе (ферментере) и может быть организована в зависимости от особенностей используемого продуцента и требований к типу и качеству конечного

продукта различными способами. Ферментация может проходить в строго асептических условиях и без соблюдения правил стерильности (так называемая«незащищенная» ферментация); на жидких и на твердых средах; анаэробно и аэробно [82].

Анализ литературных источников показал, что для переработки отходов животноводства и обеспечения биотехнологического процесса разложения органических составляющих с получением полезной энергии и продуктов применяются в основном: аэробное сбраживание, компостирование, термохимическая обработка, вермикомпостирование и комплексные технологии.

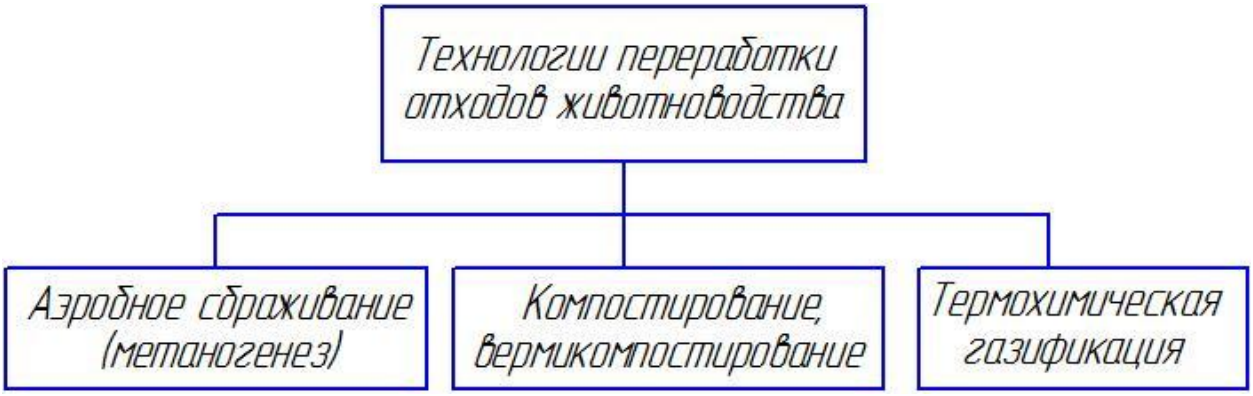


Рисунок 5 – Технологии переработки отходов животноводства

2.1.1 Анаэробное сбраживание

В основе этой технологии лежит микробиологическая деструкция органической части помета в анаэробных условия с последующим биосинтезом метана.

Метод анаэробного сбраживания достаточно хорошо изучен и рекомендован к внедрению (см. РД-АПК 1.10.15.02-08 «Методические рекомендации по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета»), однако не получил сколько-нибудь заметного распространения в России [33].

Анаэробное сбраживание широко используется в Западной Европе, где практикуется в основном мезофильное сбраживание.

За рубежом создание и эксплуатация таких производств стимулируется государством: безвозмездные государственные субсидии на строительство биозаводов, приобретение производимой биозаводами энергии по выгодным ценам. Например: по опыту в Италии, биозавод продает в сеть производимую электроэнергию по 22 цента/кВтч, а покупает для своих нужд у сети по 14 центов/кВтч. Разработана также система льгот в связи с одновременным решением экологических проблем.

В таких условиях биогазовая технология достаточно рентабельна.

Детальное изучение метода анаэробного сбраживания привело к выводу, что экономически, технически и экологически наиболее эффективным является термофильный режим. Термофильный режим в сочетании с высокопроизводительной микрофлорой позволяет сократить время сбраживания до 5-7 суток, что ведет к значительному снижению объема сооружений, повысить выход биогаза с 1,5м^3 (немецкая технология) до 7-8 м^3 с 1 м^3 метантенка [34].Значительно меньше затрачивается энергии на проведение процесса (таблица 8) мезофильным и термофильным сбраживанием при производительности 50 т/сут. навоза [49].

Таблица 8 – Сравнительные показатели анаэробной переработки отходов животноводства

Показатели	**Мезофильное сбраживание (t=35)**	**Термофильное сбраживание (t=55)**
Время сбраживания, сут	35-40	5-7
Объем метатенка,м^3	1750	300
Выход биогаза,м^3/сут*м^3 метатенка	1,1	6,5
Потребляемая эл.энергия на обеспечение процесса, кВт	15	5
Капитальные затраты на строительство, тыс.руб	31500	13000
Удельные капитальные затраты тыс.руб/м^3 навоза в год	1720	710

Учитывая факторы природно-климатических условий и действующую законодательную базу России, мы пришли к выводу, что данная технология весьма капитало- и материалоемкая. При времени сбраживании 30-40 суток

требует больших капитальных вложений и энергетических затрат. Из-за характерного для мезофильного режима неполного обеззараживания должно быть предусмотрено дополнительное выдерживание шлама для завершения процесса.

2.1.2 Компостирование

При полевом компостировании в штабелях (буртах) на открытых площадках приготовление компостов проводят при температуре наружного воздуха не ниже -5 °С. Площадки должны быть обвалованными, водонепроницаемыми, например, с асфальтовым или бетонным покрытием, рассчитываемым на нагрузку от применяемых механизмов и массы штабелей, с дренажными системами. Уровень залегания грунтовых вод не должен быть выше 1 - 1,5 м, чтобы компостируемые продукты не загрязняли грунтовые воды. Санитарная зона для мелких жилых массивов составляет 500 м. Для приготовления компостной смеси, смешивания ее с наполнителями и перемешивания, уборки готового компоста, могут применяться погрузчики, траки, тракторы, уборочные машины, бульдозеры [13,22,45].

Бурты укладываются в виде пирамиды, трехгранной призмы или трапеции в сечении на площадке с теплоизоляционной подушкой (например, из торфа) с углом естественного откоса боковых сторон бурта 35 - 45°. Компоненты укладывают слоями по 5 - 15 см, избегая уплотнения. При завершении бурта на его поверхность для снижения теплопотерь и предотвращения распространения запаха и мух наносят теплоизоляционный слой толщиной 5 - 20 см в летний период, а в зимний до 30 - 40 см. В качестве теплоизолирующего материала подходят готовый просеянный компост, солома, опилки, торф. Через каждые 2 - 4 недели бурты увлажняют. Процесс компостирования в хорошо укрытых буртах продолжается и в зимнее время. Общая продолжительность компостирования в буртах и

штабелях обычно составляет от 1,5 - 2 до 3 - 6 месяцев в зависимости от климатических условий и времени года.

Перемешивание компостной массы и принудительная аэрация с помощью каналов или труб, расположенных под компостируемым материалом, уменьшают анаэробные зоны; периодическое рыхление диспергирует крупные фрагменты сырья, что увеличивает удельную поверхность, обеспечивает переработку большей части сырья в термофильных условиях и ускоряет созревание компоста. Смесь в буртах перемешивают на протяжении 30 - 45 сут. несколько раз (через 6 - 8 сут.). Чрезмерное перемешивание вызывает охлаждение и высыхание компостируемой массы, разрывы в мицелии актиномицетов и грибов или разрушение структуры сырья и превращение его во влажную гомогенную массу [76].

Очень часто для ускорения компостирования в смесь добавляется готовый компост. Специализированные биологические добавки могут содержать ферменты (например, из каныжной биомассы желудка жвачных животных, коммерческие препараты целллюлолитических, гемоцеллюлолитических, пектинолитических ферментов, мультиэнзимные композиции), микроорганизмы, выделенные из компоста или специально селекционированные штаммы - деструкторы целлюлозы, лигнина, белков и других биополимеров (стартовые культуры на основе термофильных актиномицетов, бактерий, обитающих в рубце жвачных, иммобилизованных бактерий Bacillus subtilis, B. licheniformis, грибов Pleurotus florida, P. ostreatus, Trichoderma viride и т.д. [14,16,18].). Сокращение продолжительности компостирования возможно и при орошении компоста водным экстрактом из готового компоста. Рекомендуемые соотношения компоста и воды при получении экстракта - 1: 100. В буртах компост с добавлением экстракта созревает на 10 - 20 сут. раньше. Добавление стартовых культур позволяет сократить сроки компостирования до 4-15 сут.

Механизированным компостированием на специализированных установках в биоконвекторах, биореакторах, ферментационных барабанах, силосах, биотуннелях, траншеях и т. п. достигается наиболее высокая производительность обработки, при этом продолжительность компостирования можно уменьшить до 2 - 3 недель и даже до 2 - 7 суток. Объемы биореакторов для компостирования достигают 100 - 500 $м^3$, производительность - от 0,5 до 300 т компоста в сутки. В комплекты оборудования таких систем входят: контейнеровозы, погрузчики, транспортеры, прессы, барабанные грохоты, магнитные сепараторы, установки для измельчения отходов, смесители, биофильтры или компостные фильтры для очистки газов, устройства для рыхления и перемешивания компостной массы грейферного, лопастного, шнекового и других типов [28].

Компостирование с использованием механизированных технологий проводится в два этапа: первый - ускоренное разложение органического материала в условиях контролируемых температуры, влажности, аэрации; второй - дозревание полученной компостной массы в течение 3 - 4 недель в буртах или штабелях на площадках или в реакторах, где она стабилизируется, обеззараживается и высушивается.

В вертикальных реакторах типа силосных башен с одноступенчатым и многоступенчатым (многоэтажным) циклом компостирование проводится с перемешиванием материала внутри реактора либо без перемешивания при продолжительности от 3 до 21 сут. в зависимости от типа реактора и технологического процесса. При этом обычно для ускорения процесса к компостируемому материалу добавляют часть (до 1/3) готового компоста. Компостируемая масса загружается сверху и выгружается снизу. Воздух для аэрации компримируется в нижнюю часть реакторов и откачивается из верхней части [51].

Пассивное компостирование - самый простейший способ, который включает получение органических смесей (птичий помет + птичий помет с подстилкой, птичий помет + торф, птичий помет + древесные опилки, птичий помет +другие местные органические отходы) [29]. Органическая смесь формируется в штабели высотой не более 2,5 метров. Через 6 - 8 месяцев хранения на полевых площадках происходит созревание этой смеси, так как в ней создаются благоприятные условия для роста и развития мезофильных и термофильных микроорганизмов, в результате чего и образуется компост, который пригоден для использования в земледелии.

Интенсивное компостирование применяют, когда готовое органическое удобрение планируется реализовать через розничную торговлю. По этому способу органическую смесь загружают в специальные ферментеры, в которых процесс созревания происходит за 6-7 суток, так как в них нагнетается в нижнюю часть воздух, который резко интенсифицирует рост и развитие мезофильных и термофильных микроорганизмов.

2.1.3 Вермикомпостирование

Заключается в переработке органических отходов при помощи дождевых червей. Многие специалисты отводят вермикультуре основную роль в спасении почв, деградировавших в результате неправильного использования. По данным сторонников способа, тяжелые металлы в биогумусе связываются и нейтрализуются, а фитогормоны, продуцируемые микрофлорой, ускоряют рост растений в 4−6 раз, помогают им противостоять болезням и вредителям. Индустрия вермикомпостирования так распространилась на планете, что создана даже своя федерация, зарегистрированная в Италии, а в Дании издается специальный журнал под названием «Червивые новости» [31]. Однако есть и скептики, которые утверждают, что как удобрение, вермикомпост не имеет существенных преимуществ в сравнении с обычным компостом, в то же время технология

его производства значительно сложнее и обходится гораздо дороже. Однако достоверных сведений о преимуществах того или иного способа компостирования в литературе недостаточно и данный вопрос, по-видимому, требует дальнейшего изучения.

Широкому распространению способа вермикомпостирования в России препятствует отсутствие соответствующих специализированных средств механизации и высокая себестоимость переработки компостируемых материалов, что ограничивает рынок потребления продуктов вермикомпостирования.

2.1.4 Термохимическая газификация

В навозе, помете, растительных остатках, отходах деревообработки, кроме химических веществ, заключено большое количество солнечной энергии, перешедшей в растения при фотосинтезе. Поэтому это сырье нужно рассматривать как возобновляемые источники энергии. Одним из наиболее эффективных способов получения энергии из такого сырья мы считаем термохимическую газификацию. Газификация характеризуется повышенным энергопотенциалом. По сравнению с анаэробным сбраживанием (получение биогаза) термохимическая газификация генерирует из единицы сырья больше потенциальной энергии. Так, из 1 т негативного свиного навоза или навоза КРС при термохимической газификации можно получить 440 кВтч потенциальной энергии, тогда как при анаэробном сбраживании с получением биогаза 250 кВтч [4, 42].

Газификация представляет собой процесс высокотемпературного превращения биомассы в газ, называемый генераторным или синтетическим, и золу в специальных реакторах (газогенераторах) с ограниченным доступом воздуха. Опытно-промышленный комплекс газификации мощностью 30м^3/час по синтезгазу (12 кг/час по сухому перерабатываемому сырью). Разработан модульный ряд до 3000м^3 /час по синтезгазу. Потенциальная

электрическая мощность до 1,8 МВт. Из 1 т растительного сырья получают около 2500м^3 газа с теплотой сгорания до 2200 Ккал/м^3. В зоне газификации развивается температура до 1500°С. В сочетании с мгновенной закалкой синтезгаза это обеспечивает отсутствие в нем каких-либо токсичных примесей. Благодаря этому, а также удобству применения газа, газификация является более эффективным и чистым процессом, чем обычное сжигание.

Произведенный в газогенераторе газ используется как обычное котельное топливо взамен природного газа и/или как моторное топливо для газопоршневых установок, где сжигается с получением электрической и тепловой энергии до безопасных для окружающей среды газов: CO_2, N_2, водяного пара. Он может быть также использован в качестве сырья для получения дизельного топлива.

В газогенераторе можно использовать отходы дерева, кору, низкокалорийные растительные отходы, навоз, помет, содержащие высокий процент влаги (до 40 %). Высокая энергопроизводительность газогенератора позволяет получить из 1кг древесных отходов, несмотря на их более низкую энергетическую ценность, столько же энергии, как и при сжигании 1 кг высокосортного каменного угля в классическом котле.

Попутно при газификации навоза/помета образуется зола, являющаяся ценным комплексным минеральным удобрением.

2.1.5 Комплексная переработка

Навоз гомогенизируется и подвергается анаэробному сбраживанию. Биогаз сжигается в газопоршневой установке с получением электрической и тепловой энергии. Сброженный шлам разделяется на твердую и жидкую фракции. Жидкая фракция используется как жидкие биоудобрения. Твердая фракция после подсушивания представляет собой твердые удобрения [3, 14].

К сожалению, огромные количества пометной массы по целому ряду причин, накапливаемые вблизи птицеводческих хозяйств, стали объектом

пристального внимания природоохранных и надзорных органов. Практически все птицефабрики РФ оказались в сложной экологической ситуации, так как накапливаемый птичий помет стал серьезным источником загрязнения окружающей природной среды, потому что для утилизации таких объемов птичьего помета птицеводческие хозяйства сегодня не располагают даже самыми простейшими комплектами оборудования. В конечном итоге это привело к тому, что во всех регионах РФ птицефабрики превращаются в источники загрязнения окружающей среды, так как многолетние накапливания помета являются причиной распространения инфекционных болезней, отчуждаются из оборота плодородные пахотные земли, образуются территории без признаков жизни фауны и флоры. Вполне естественно, что такое состояние дел стало настораживать природоохранные и надзорные органы. Птицефабрикам стали предъявлять серьезные штрафные санкции за размещение так называемого опасного отхода [20, 25, 33].

2.2 Технологические особенности анаэробного сбраживания (метаногенеза)

2.2.1 Микробиологические аспекты метаногенеза

Получение биогаза и биоудобрений из органических отходов основано на свойстве отходов выделять биогаз при разложении в анаэробных, то есть безкислородных условиях. Этот процесс называется метановое сбраживание и происходит в три этапа в результате разложения органических веществ двумя основными группами микроорганизмов - кислотными и метановыми.

В природе биологическое образование метана – это важный процесс, который протекает во влажной бескислородной среде, где под действием метанобразующих бактерий разлагается органический материал, например, в желудочном тракте жвачных животных или компостных ямах. Метаногенез является основным источником образования метана в земной атмосфере. В

процессе биометаногенеза участвуют три группы бактерий. Первые превращают сложные органические субстраты в масляную, пропионовую и молочную кислоты; вторые превращают эти органические кислоты в уксусную кислоту, водород и углекислый газ, а затем метанообразующие бактерии восстанавливают углекислый газ в метан с поглощением водорода, который в противном случае может ингибировать уксуснокислые бактерии. В 1967 году Брайант и др. установили, что уксуснокислые и метанообразующие микроорганизмы образуют симбиоз, который ранее считался одним микробом и назывался Methanobacillus omelianskii.

Способностью образовывать метан обладают около 50 видов из 17 родов, все из которых относятся к археям. Традиционно их рассматривают как группу метанобразующих бактерий, однако филогенетически она весьма неоднородна. В IX определителе бактерий Берджи выделено три порядка метаногенов: Methanobacteriales, Methanococcales и Methanomicrobiales.

После создания Р.Э. Хангейтом в 1985 году упрощенной техники культивирования метанобразующих бактерий удалось выделить 30 видов метаногенов, принадлежащих к 14 родам и 6 семействам. По форме клеток метаногены являются кокками или палочками различных размеров и подвижности. Некоторые представители Methanobacterium и особенно Methanothrix могут образовывать даже нитеобразные клетки. Строение клеточной стенки у метаногенов отличается от таковой у обычных бактерий.

Метаногены завершают анаэробную деструкцию вещества, используя молекулярный водород, углекислый и угарный газы, а также низшие органические кислоты, выделяющиеся в процессах брожения. Более 20 % мировых запасов метана имеют биогенное происхождение.

Для всех метанобактерий характерна способность к росту в присутствии водорода и углекислого газа, а также высокая чувствительность к кислороду и ингибиторам производства метана. В природных условиях метанобактерии тесно связаны с водородобразующими бактериями: эта

трофическая ассоциация выгодна для обоих типов бактерий. Первые используют газообразный водород, продуцируемый последними; в результате его концентрация снижается и становится безопасной для водородобразующих бактерий. Температурный режим анаэробного брожения играет важную роль в выборе конструкции основного аппарата и расчете его основных характеристик. По отношению к температурному фактору все метанобразующие микроорганизмы можно разделить на три группы по оптимальной температуре роста и развития:

1. Термофилы (45-70 °С). Эта группа метаногенов способна развиваться при относительно высоких температурах, вместе с тем их рост существенно замедляется при температурах ниже 45 °С. По сравнению с бактериями, температурный оптимум которых приходится на более низкие температуры, термофильные бактерии имеют гораздо большую скорость роста и, соответственно, скорость утилизации органических веществ. Однако в промышленных условиях поддержание такой высокой температуры в реакторе сопряжено с большими энергетическими затратами на подогрев аппарата, а в случае анаэробной очистки сточных вод нецелесообразно ввиду образования на нагревающих поверхностях корки из активного ила, приводящей к понижению коэффициента теплопередачи. Проведение анаэробных процессов очистки в термофильном режиме может быть оправдано в ситуации, когда обрабатываемые стоки, поступающие в реактор, уже имеют достаточно высокую температуру (60–70 °С), как, например, в случае дистилляционных отходов бродильных производств. Экономический эффект от кинетических преимуществ термофильного режима брожения в случае очистки жидких навозных 169 стоков полностью гасится затратами на поддержание температуры в реакторе на столь высоком уровне.

2. Мезофилы (15-45 °С). Метаногены этой группы имеют температурные оптимумы роста 35 °С (собственно мезофилы) и 25 °С (субмезофилы). Первые отличаются от вторых большими скоростями роста и утилизации

органических веществ. Экспериментальные исследования показали, что по соотношению кинетических и экономических факторов для очистки сточных вод гораздо выгоднее использовать реакторы, работающие в мезофильном режиме. Субмезофильный режим не обеспечивает достаточно полной очистки при тех же параметрах, что и мезофильный – для его проведения требуется большее время, ведущее к увеличению объемов аппаратуры и повышению эксплуатационных затрат. Кроме того, субмезофильные микроорганизмы имеют достаточно низкую толерантность к повышенным концентрациям загрязняющих веществ, чего не наблюдается в случае мезофилов. В связи с этим реакторы, работающие в субмезофильном режиме, не получили широкого распространения в деле очистки сточных вод.

3. Психрофилы (ниже 15 °С). Эта группа микроорганизмов является наименее изученной. Применение анаэробных процессов при пониженных температурах вызывает ряд проблем. Жизнедеятельность микроорганизмов формирует концентрационный градиент между ними и жидкой средой, определяя направления диффузии питательных веществ. Концентрационный градиент или диффузионный слой в условиях низкой концентрации субстрата в среде и высокой удельной активности биомассы может лимитировать скорость процесса. Кроме того, снижение температуры сопровождается спадом скорости биохимических процессов. Также при низких температурах увеличивается растворимость газов в жидкости, что приводит к спаду выхода биогаза при анаэробном брожении. Для смягчения диффузионных затруднений, особенно в психрофильных условиях, рекомендуют увеличивать интенсивность перемешивания жидкости в реакторе. Происходит снижение концентрационного градиента между активной гранулой и жидкой средой и улучшение массопереноса субстрата к клеткам микроорганизмов. За рубежом реакторы с психрофильным режимом брожения практически не используются, поскольку климат в этих странах достаточно теплый. На сегодняшний день низкотемпературные процессы

очистки сточных вод изучают лишь в лабораторных условиях. Исходя из анализа различных температурных режимов метанового брожения выбор был сделан в пользу мезофильного режима в качестве наиболее выгодного с точки зрения как скорости утилизации органических загрязнений (времени обработки навозного стока, размеров аппарата), так и энергетических затрат на подогрев метантенка [41].

Процесс производства биогаза разделен на три стадии: гидролиз, окисление и образование метана. В этом сложном комплексе превращений участвует множество микроорганизмов, главными из которых являются метанообразующие бактерии, три вида которых показаны на рисунке 6.

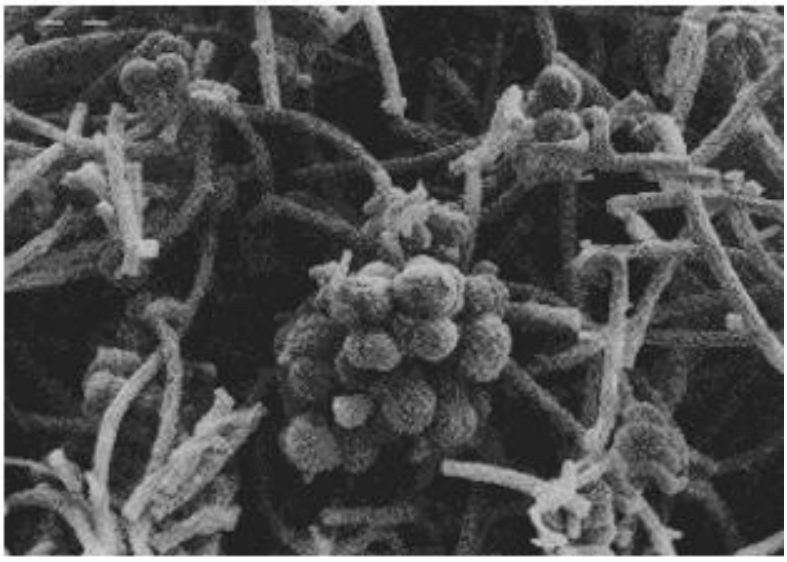


Рисунок 6 – Метаногенные бактерии

Бактерии разлагают длинные цепочки сложных углеводородов, протеины и липиды на более короткие цепочки.

Кислотопродуцирующие бактерии принимают участие во втором этапе образования биогаза, расщепляют сложные органические соединения (клетчатку, белки, жиры и др.) на 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 источниками питания для

метанообразующих бактерий, которые превращают органические кислоты в биогаз [67].

Метанобразующие бактерии, вовлеченные на третьем этапе, разлагают образования с низким молекулярным весом. Они утилизируют водород, углекислоту и уксусную кислоту. В естественных условиях, метанобразующие бактерии существуют при наличии анаэробных условий, которые создаются для жизнедеятельности метанобразующих бактерий. От этих условий зависит интенсивность газовыделения.

Симбиоз бактерий. Метан - и кислотообразующие бактерии взаимодействуют в симбиозе. С одной стороны, кислотообразующие бактерии создают атмосферу с идеальными параметрами для метанобразующих бактерий (анаэробные условия, химические структуры с низким молекулярным весом). С другой стороны, метанобразующие микроорганизмы используют промежуточные соединения кислотнопроизводящих бактерий. Если бы не происходило этого взаимодействия, в реакторе развились бы неподходящие условия для деятельности обоих типов микроорганизмов [64].

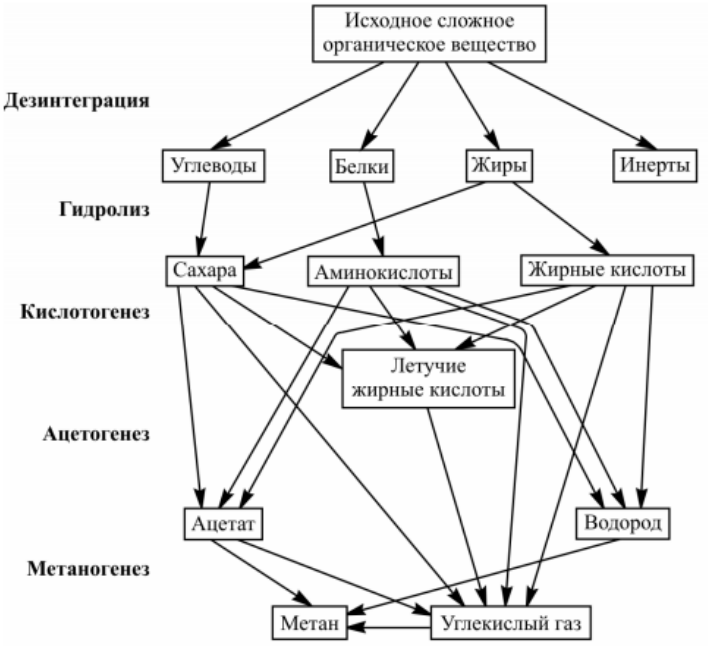


Рисунок 7 – Превращения органических веществ при метановом брожении

2.2.2 Параметры и оптимизация процесса сбраживания

Кислотообразующие и метанобразующие 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 начала процесса сбраживания достаточно обеспечить следующие условия: поддержка анаэробных условия в реакторе; соблюдение температурного режима; доступность питательных веществ для бактерий; выбор правильного времени сбраживания и своевременная загрузка и выгрузка сырья; соблюдение кислотно-щелочного баланса; соблюдение соотношения содержания углерода и азота; выбор правильной влажности сырья; регулярное перемешивание и отсутствие ингибиторов процесса. На каждый из различных типов бактерий, участвующих в трех метанобразования, эти параметры влияют по-разному. Существует также тесная взаимосвязь между параметрами (например, выбор времени сбраживания зависит от температурного режима), поэтому сложно определить точное влияние каждого фактора на количество образующегося биогаза [10, 45].

2.2.3 Соблюдение температурного режима. Температурные границы процесса сбраживания

Поддержка оптимальной температуры является одним из важнейших факторов процесса сбраживания. В природных условиях образования биогаза происходит при температуре от 0 ºС до 97 ºС, но с учетом оптимизации процесса переработки органических отходов для получения биогаза и биоудобрений выделяют 3 температурного режима:

- психофильный температурный режим определяется температурами до 20-25 ºС;
- мезофильный температурный режим определяется температурами от 25 ºС до 40 ºС;
- термофильный температурный режим определяется температурами свыше 40 ºС.

Минимальная средняя температура. Степень бактериологического производства метана увеличивается с увеличение 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 ºС или выше, или когда средняя дневная температура достигает по меньшей мере 18 ºС. При средних температурах в 20-28 ºС производство газа непропорционально увеличивается. Если же температура биомассы менее 15 ºС, выход газа будет так низок, что биогазовая установка без теплоизоляции и подогрева перестает быть экономически выгодной [16].

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 ºС, а для термофильного 52-55.

Психофильный температурный режим соблюдается в установках без подогрева, в которых отсутствует контроль за температурой. Наиболее интенсивное выделение биогаза в психофильном режиме происходит при 23 ºС.

Изменения температуры сырья. 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 (2 ºС в час), мезофильный температурный режим (1 ºС в час), термофильный температурный режим (0,5 ºС в час) [50].

К преимуществам термофильного процесса сбраживания относятся: повышенная скорость разложения сырья, 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 достаточно количество азота, серы, фосфора, калия, кальция и магния и некоторого количества микроэлементов - железа, марганца, молибдена, цинка, кобальта, селена, вольфрама, никеля и др. 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 бактерий из реактора вымываются быстрее, чем могут размножаться и процесс ферментации практически останавливается.

Слишком продолжительное выдерживание сырья в реакторе не отвечает задачами получения наибольшего количества биогаза и биоудобрений за определенный промежуток времени [76].

Время оборотного 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) [57].

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 составляется 20 суток, то суточная доля загрузки будет составлять 1/20 общего объема загружаемого сырья.

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. Метанобразующие 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 [32].

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 [17].

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 [22, 65].

Таблица 9 – Содержание азота и соотношение содержания углерода и азота

Биоферментируемый материал	**Азот N, %**	**Соотношение углерода и азота**
1	*2*	*3*
Навоз животных		
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
Отходы хозяйства		
Фекалии	6,0 - 7,1	6 - 10
Кухонные отходы	1,9	28,60

Продолжение таблицы 9

1	*2*	*3*
Капуста	3,6	12,5
Помидоры	3,3	12,5
Растительные сухие отходы		
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 - 17,0
Другое		
Трава	4	12
Опилки	0,1	200 - 500
Опавшая листва	1,0	50

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.

Количество и состав газа, образующегося в процессе полного разложения органического вещества, зависит от соотношения C:H:O:N в исходном материале и от температуры брожения. Из важнейших соединений, входящих в состав органического вещества, жиры обусловливают наибольший выход газа с высоким содержанием CH_4, белки – немного меньший, но тоже с высоким содержанием CH_4, и углеводы – относительно мало газа с наименьшим содержанием CH_4.

Средний состав газа, который можно получить из экскрементов животных при оптимальной температуре брожения 34 °C, соответствует соотношению $CH_4/CO_2 = 2$. В зависимости от доли способной к

сбраживанию органической массы в реакторе разлагается лишь 40–50 % всей закладываемой в нее органической массы [43].

Таблица 10 – Выход газа и продолжительность цикла брожения для типичных сельскохозяйственных материалов при температуре 30 ºС

Сбраживаемый материал	Выход газа ($см^3$/г), отнесенный		Время цикла, сут.	Содержание CH_4	Выход газа в % от общего количества по истечении времени цикла (сут)		
	к исх.массе	к массе сух.орг.вещ.			10	15	20
Экскременты откармливаемых бычков	237	315	117	80	24	36	48
Свиной навоз	257	415	115	81	40	57	68
Солома с длиной резки 30 мм	357	383	123	80	29	38	45
Солома с длиной резки 2 мм	393	423	80	81	51	67	77
Картофельная ботва	526	606	53	75	85	90	92
Ботва сахарной свеклы	456	501	14	85	99	100	100
Трава	490	557	24	84	87	96	99

2.2.4 Выбор оптимальной влажности сырья

Беспрепятственный обмен веществ в сырье является предпосылкой для высокой активности бактерий. Это возможно только в том случае, когда вязкость сырья допускается 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 (навоза и мочи) для различных видов животных, приводятся в таблице 11.

Таблица 11 – Количество и влажность навоза и помёта

Виды животных	Среднесуточное количетсво навоза, кг/сутки	Влажность навоза, %	Среднесуточное количество экскрементов, кг/сутки	Влажность экскрементов, %
КРС	36	65	55	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 = НЧ ((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%.

Таблица 12 – Количество воды для достижения необходимой влажности на 100 кг навоза

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

Регулярное перемешивание

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

высвобождение производственного 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 [19, 63].

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 [24].

Ингибиторы процесса. Сбраживаемая органическая масса не должна содержать веществ (антибиотики, растворители) отрицательно влияющих на жизнедеятельность микроорганизмов. Не способствуют "работе" микроорганизмов и некоторые неорганические вещества, поэтому нельзя, например, использовать дл разбавления навоза воду, оставшуюся после стрики белья синтетическими моющими средствами.

Таблица 13 – Ограничения по задержке для распространенных неорганических ингибиторов

Вещества, задерживающие рост бактерий либо токсичные для бактерий	**Задерживают рост бактерий в концентрациях выше**
Кальция (Ca^{2+})	2500 - 4500
Хром (Cr^{3+})	200
Медь (Cu^{2+})	100
Магний (Mg^{2+})	1000-1500
Марганец (Mn^{2+})	1500
Никель (Ni^{3+})	200-500
Нитрат (NO^{3-}), рассчитанный как N	0,05
Калий (K^{+})	2500-4500
Натрий (Na^{+})	3500-5000
Хлорид натрия (NaCl, поваренная соль)	40000 промиле

2.3 Технологические особенности процесса компостирования

2.3.1 Стадии компостирования

Компостирование это экзотермический процесс биологического окисления, в котором органический субстрат подвергается аэробной биодеградации смешанной популяцией микроорганизмов в условиях повышенной температуры и влажности. В процессе биодеградации органический субстрат претерпевает физические и химические превращения с образованием стабильного гумифицированного конечного продукта.

Компостирование представляет собой динамический микробный процесс, протекающий благодаря активности сообщества микроорганизмов различных групп.

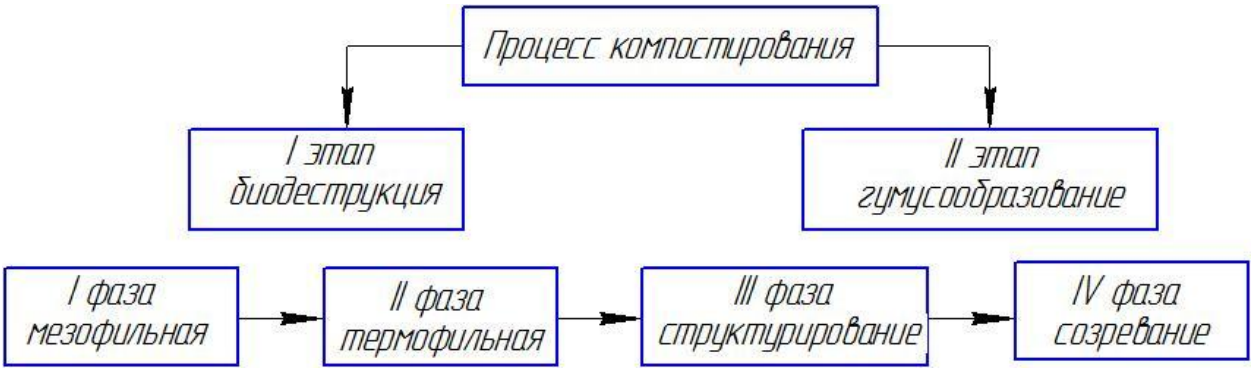


Рисунок 8 – Стадии компостирования

Компостирование – комплексный, многостадийный процесс. Каждая его стадия характеризуется различными консорциумами организмов.

Продолжительность I, II, III стадий несколько суток и недель, IV – несколько месяцев.

I фаза (мезофильная): начинается сразу после внесения свежих отходов в компостную кучу, на этой стадии начинают развиваться и адаптироваться к типу отходов и условиям обитания в компостной куче мезофильные микроорганизмы (Bacillus cereus, Pseudo-monas fluorescens, Pseudomonas aeruginosa, Clostridium sporogenes). В результате протекания аэробных процессов окисления органического субстрата температура внутри компостируемой смеси начинает повышаться с 10-15^{o}C до 30-45^{o}C, а среда подкисляется. При разложении аминокислот белков азот освобождается в виде аммиака (так называемый процесс аммонификации (минерализации) азота), а из содержащейся в белке серы образуются сернистые соединения, а в процессе декарбоксилирования выделяется диоксид углерода. Углерод используется микроорганизмами для получения энергии, а азот - для построения структуры клетки. Изменение pH среды также является результатом химико-микробиологических преобразований. Аммиак, который образуется при окислении органических веществ, довольно быстро окисляется в азотистую, затем в азотную кислоту, происходит процесс нитрификации. Данный процесс вызван бактериями рода Nitrosomonas, Nitroso-cystis, Nitrosolobus и др.

В процессе компостирования теряется в виде углекислого газа и воды около 40% массы органического вещества, соответственно, увеличивается зольность.

Азотистые соединения твердых выделений и подстилки, главным образом белок, также разлагаются с образованием аммиака, но очень медленно, потому что при большом количестве углеродистых соединений образующийся аммиак полностью используется микроорганизмами.

II фаза (термофильная): при достижении температуры 40-45^{o}C наступает II фаза, благоприятная для развитии термофилов. Интенсивность

их обмена выше, чем у мезофиллов, потому температура возрастает особенно быстро, достигая максимальных значений 70-80^{o}C. За счет биотермических и биолитических процессов происходит обеззараживание. Погибают личинки насекомых, яйца гельминтов, семена сорных растений и такие патогенные микроорганизмы, как кишечная палочка, стафилококки, а также устойчивый штамм Salmonella Dublin и др. Благодаря высокой температуре происходит ускоренный распад белков, жиров и сложных углеводов типа целлюлозы и гемицеллюлозы – основных структурных компонентов растений. Более устойчивые субстраты снижают активность термофильных микроорганизмов.

III фаза (структурирование): После потребления легкоразлагаемого субстрата скорость окисления начинает падать, после того, как в него вовлекаются более устойчивые субстраты; температура внутри компостируемой массы понижается до уровня окружающей среды, pH медленно убывает, но остается щелочным. По мере остывания сначала восстанавливаются популяции спорообразующих бактерий и бактерий-актиномицетов, затем грибов. Развитие актиномицетов сопровождается образованием антибиотиков, которые подавляют многие бактерии, в том числе гнилостные микобактерии, что способствует, наряду с температурным воздействием, обеззараживанию компостного материала.

IV фаза (созревание): На заключительной стадии дефицит питательных веществ и смена доминирующей микрофлоры приводят к лизису части микробных клеток, появляются почвенные животные. Оставшиеся органические вещества вовлекаются в сложные реакции между остатками растительных полимеров и продуктами разложения, приводящие к образованию гуминовых кислот. Конечным результатом этапа образования компоста является стабилизация органических веществ.

Темный цвет, типичный для компоста, может появиться задолго до достижения нужной степени стабилизации. То же можно сказать о «запахе почвы».

Кроме внешнего вида и запаха параметрами стабильности являются: окончательное падение температуры, степень самонагревания, количество разложившегося и стабильного вещества, повышение окислительно-восстановительного потенциала, поглощение кислорода, рост нитевидных грибов, крахмальная проба.

2.3.2 Микробиологические аспекты компостирования

Компостирование представляет собой динамический процесс, протекающий благодаря активности сообщества живых организмов различных групп.

В процессе компостирования принимает участие множество видов бактерий (более 2000) и не менее 50 видов грибов. Эти виды можно подразделить на группы по температурным интервалам, в которых каждая из них активна. Для психрофилов предпочтительна температура ниже 20 ^{o}C, для мезофилов – 20-40^{o}C и для термофилов – свыше 40 ^{o}C. Микроорганизмы, преобладающие на последней стадии компостирования, являются, как правило, мезофилами.

Актиномицеты растут гораздо медленнее, чем бактерии и грибы, и на ранних стадиях компостирования не составляют им конкуренции. Они более заметны на последующих стадиях процесса, когда их становится очень много, и налет белого или серого цвета, типичный для актиномицетов, отчетливо виден на глубине 10 см от поверхности компостируемой массы. Их численность ниже численности бактерий и составляет порядка 100 тыс. – 10 млн. клеток на грамм влажного компоста [70].

Грибы играют важную роль в деструкции целлюлозы, и состояние компостируемой массы должно регулироваться таким образом, чтобы

оптимизировать активность этих микроорганизмов. Важным фактором является температура, так как грибы погибают, если она поднимается выше 55°С. После понижения температуры они вновь распространяются из более холодных зон по всему объему.

В процессе компостирования принимают активное участие не только бактерии, грибы, актиномицеты, но и беспозвоночные. Эти организмы сосуществуют с микроорганизмами и являются основой «здоровья» компостной кучи. В дружной команде компостеров – муравьи, жуки, сороконожки, гусеницы озимой совки, личинки фруктового жука, многоножки, клещи, нематоды, дождевые черви, мокрицы, ногохвостки, пауки, пауки-сенокосцы, энхитрииды (белые черви) и др.. После того как достигнут максимум температуры, компост, остывая, становится доступным для широкого ряда почвенных животных. Многие почвенные животные вносят большой вклад в переработку компостируемого материала посредством его физического дробления. Эти животные также способствуют перемешиванию разных компонентов компоста. В умеренном климате главную роль в заключительных стадиях процесса компостирования и дальнейшего включения органического вещества в почву играют земляные черви [59].

2.3.3 Биохимические аспекты компостирования

Процесс компостирования зависит от активности микроорганизмов, которые нуждаются в источнике углерода и азота, потому огромное значение имеет углерод-азотный баланс (отношение C:N). Потребность в углероде у микроорганизмов в 25 раз выше, чем в азоте. Углерод необходим для получения энергии и биосинтеза клеточного матрикса; азота для синтеза клеточных белков, нуклеиновых кислот, аминокислот и ферментов, необходимых для построения клеточных структур, роста и

функционирования. В меньшей степени микроорганизмы нуждаются в фосфоре, калии, кальции и других элементах [64].

В большинстве процессов компостирования эти потребности удовлетворяются за счет исходного состава органических отходов, которые используют при закладке кучи. Контрольное значение этого соотношения C:N при компостировании равняется 30:1 (30г углерода на 1г азота). Оптимальным считается соотношение C:N, равное 25:1. Чем больше углерод-азотный баланс отклоняется от оптимального, тем медленнее протекает процесс.

Более высокое содержание углерода приводит к окислению избыточного углерода, доступность азота снижается, и микробный метаболизм постепенно затухает. Основным вредным эффектом слишком низкого отношения C/N является потеря азота в результате образования аммиака и его последующего улетучивания. Потеря аммиака становится наиболее ощутимой при высокоскоростных процессах компостирования, когда возрастает степень аэрации, создаются термофильные условия и pH достигает 8 и более. Такое значение pH благоприятствует образованию аммиака, а высокая температура ускоряет его улетучивание [18, 32].

При низких значениях этого соотношения потеря азота в форме аммиака может быть частично подавлена добавлением избыточных фосфатов (суперфосфат) [54].

2.3.4 Оптимальные условия компостирования

Питательные вещества и добавки. Для увеличения скорости компостирования применяются различные химические, растительные и бактериальные добавки. Носители (древесная щепа, солома, опилки и др.) обычно необходимы для поддержания структуры, обеспечивающей аэрацию при компостировании таких отходов, как сырой активный ил и навоз.

Кислотность. Кислотность является наиболее важным показателем «здоровья» компостной кучи. Как правило, pH бытовых отходов в первой

фазе компостирования составляет 5,5–6,0. Уровень pH определяется активностью кислотообразующих бактерий, которые разлагают сложные углеродсодержащие субстраты (полисахариды и целлюлозу) до более простых органических кислот. Значения pH поддерживаются также ростом грибов и актиномицетов, способных разлагать лигнин в аэробной среде [23].

Конечным результатом является рост pH до 7,5–9,0. Попытки контролировать pH соединениями серы неэффективны и нецелесообразны. Поэтому более важным является управление аэрацией посредством контроля анаэробных условий, узнаваемых по ферментации и гнилостному запаху.

Роль pH в компостировании определяется тем, что многие микроорганизмы, как и беспозвоночные, не могут выживать в очень кислой среде. К счастью, pH, как правило, контролируется естественным путем (карбонатная буферная система).

Компостирование легко протекает при значениях pH, равных 5,5–9,0, но наиболее эффективно – в диапазоне 6,5–9,0.

Аэрация. При нормальных условиях компостирование представляет собой аэробный процесс. Это означает, что для метаболизма и дыхания микробов необходимо присутствие кислорода. В процессе компостирования концентрация кислорода снижается, а углекислого газа – возрастает. Если концентрация кислорода падает ниже 5%, возникают анаэробные условия. Контроль содержания кислорода в выходящем воздухе полезен для регулировки режима компостирования. Самый простой способ такого контроля – обоняние, так как запахи разложения указывают на начало анаэробного процесса [47].

Потребность в кислороде меняется в течение процесса: она низка в мезофильной стадии, возрастает до максимума в термофильной стадии и падает до нуля во время стадии остывания и созревания.

При естественной аэрации центральные участки компостируемой массы могут оказаться в условиях анаэробиоза, поскольку скорость

диффузии кислорода слишком низка для протекающих метаболических процессов. Если материал, образующий компост, имеет анаэробные зоны, то могут возникнуть масляная, уксусная и пропионовая кислоты. Однако кислоты вскоре используются бактериями в качестве субстрата, и с образованием аммиака начинает подниматься уровень pH. В таких случаях перемешивание вручную или механическое позволяет воздуху проникнуть в анаэробные участки.

Влажность. Разложение осуществляется гораздо быстрее в тонких жидких пленках, образованных на поверхностях органических частиц. 50–60% влаги считается оптимальным содержанием для осуществления процесса компостирования. Оптимальная влажность варьирует и зависит от природы и размера частиц. Содержание влаги менее 30% подавляет бактериальную активность. При влажности менее 30% от общей массы скорость биологических процессов резко падает, а при влажности 20% они могут вовсе прекратиться. Влажность более 65% препятствует диффузии воздуха в кучу, что значительно снижает деградацию и сопровождается зловонием. При слишком большой влажности пустоты в структуре компоста заполняются водой, которая ограничивает доступ кислорода к микроорганизмам. Наличие влаги определяется на ощупь при нажатии на комочек компоста. Если при нажатии выделяется 1-2 капли воды, то влажность компоста достаточная. Материалы типа соломы устойчивы к высокой влажности [42, 56].

Температура. Температура служит хорошим показателем процесса компостирования. Температура в компостной куче начинает подниматься через несколько часов с момента закладки субстрата и меняется в зависимости от стадий компостирования.

В начале процесса отходы находятся при температуре окружающей среды. В начальной, мезофильной, стадии микроорганизмы,

присутствующие в отходах, начинают быстро размножаться, температура повышается до 42°С.

При увеличении температуры выше 40°С происходит гибель исходных мезофиллов, им на смену приходят термофилы. Это поднимает температуру до 60 °С, при которой грибы теряют свою активность. После 62°С процесс продолжают спорообразующие бактерии и актиномицеты. В течение термофильной фазы скорость тепловыделения становится равной скорости теплопотери, что соответствует достижению температурного максимума [63].

Затем компост вступает в стадию остывания (структурирования). В некоторых случаях (часто при компостировании старых отходов) имеет место несколько температурных максимумов. В этой точке куча компоста достигает стабильного состояния. Скорость тепловыделения становится очень низкой, и температура падает до значений температуры окружающей среды.

В заключительной стадии компостирования компост не разогревается, в нем не происходят анаэробные процессы при хранении.

Высокая температура часто считается необходимым условием успешного компостирования. На самом деле при слишком высокой температуре процесс биодеградации подавляется из-за ингибирования роста микроорганизмов, очень немногие виды сохраняют активность при температуре свыше 70 °С. Порогом, после которого наступает подавление, служит температура около 60°С, и поэтому высокие температуры в течение длительного периода должны быть исключены при быстром компостировании. Однако температура порядка 60 градусов Цельсия полезна для борьбы с термочувствительными патогенными микроорганизмами. Поэтому необходимо поддерживать условия, при которых, с одной стороны, будет гибнуть патогенная микрофлора, а с другой – развиваться микроорганизмы, ответственные за деградацию. Для этих целей рекомендуемым оптимумом является температура 55°С [28].

Управление температурой может быть достигнуто с помощью принудительной вентиляции в ходе компостирования. Отвод тепла осуществляется с помощью системы испарительного охлаждения.

По степени вмешательства человека в процесс компостирования он может быть пассивным и активным.

2.4 Анализ оборудования для переработки отходов животноводства

2.4.1 Биогазовые установки

Анализ литературных источников и патентный поиск (Приложение) показал, что установки для производства биогаза из органических отходов обычно подразделяют на четыре основных типа:

- без подвода тепла и без перемешивания сбраживаемой биомассы;
- без подвода тепла, но с перемешиванием сбраживаемой биомассы;
- с подводом тепла и с перемешиванием биомассы;
- с подводом тепла, с перемешиванием биомассы и со средствами контроля и управления процессом сбраживания.

Обязательные компоненты биогазовой установки — биореактор и газгольдер для сбора биогаза, устройства для подогрева биомассы, ее перемешивания, а также средства контроля.

С точки зрения особенностей перемешивания субстрата выделяют:

- механические установки**,** оснащенные неавтоматизированными мешалками, применение которых нередко ведет к неравномерному смешиванию субстрата и гибели бактерий;
- аэрлифтные устройства**,** функционирующие при помощи барботажного смешивания, что нередко ведет к излишнему пенообразованию;
- конструкции газо-вихревого типа**,** обеспечивающие смешивание биомассы посредством создания аэрирующего газового вихря.

Биогазовая установка в Швеции (рис. 9). На биогазовую установку в Лахольме (Швеция) ежегодно поступает приблизительно 30 000 т навоза и

5000 т органических отходов со скотобоен и других промышленных предприятий. Для подавления возбудителей болезней биомасса пастеризуется – нагревается в течение часа при температуре 70 °С. Пастеризованная биомасса подается в реакторный бак емкостью 2250 м^3, где происходит процесс ее гниения. Там биомасса остается в течение 20– 25 дней. Процесс гниения идет при температуре 38 °С. При этих условиях бактерии преобразуют 40–50 % органического материала биомассы в горючий биогаз, который, как правило, содержит 60 – 70 % чистого метана. Содержащийся в газе сероводород удаляется в процессе химической очистки. После этого газ сжимается до давления около 1 бара и сушится. Таким образом, в течение 24 ч ежедневно получают приблизительно 3000–4000 м^3 газа, что соответствует объему 2000 – 2500 л нефти [45].

По газопроводу длиной примерно в 2 км биогаз подается в район новостроек. Электроэнергия мощностью 450 кВт преобразуется с помощью трансформатора в электричество напряжением 20 кВ и подается в общественную энергосеть. Тепловая энергия мощностью 636 кВт подается по системе центрального отопления в район новостроек, насчитывающей приблизительно 350 квартир. За счет высокого выхода энергии достигается эффективный коэффициент полезного действия, равный 88,4 %. При перерыве в подаче биогаза бесперебойное энергоснабжение может поддерживаться с помощью природного газа [61].

Таблица 14 – Соотношение поголовья птицы/скота и объема производства биогаза на биогазовой установке в Лахольме (Швеция)

Емкость ферментера, м^3	**Количество голов**	**Объем производства биогаза**	
		МДж/день	**м^3/день**
1	*2*	*3*	*4*
Куры-несушки			
500	35000	9600	400
2000	142000	39000	1800
4000	283000	77700	3500
10000	710000	195000	8800

Продолжение таблицы 14

Свиное поголовье			
500	1500	7000	300
2000	6000	27000	1200
4000	12000	55000	2500
10000	30000	139000	6200
Дойный скот			
500	160	5000	230
2000	650	21000	960
4000	1300	42000	1900
10000	3200	106000	4800

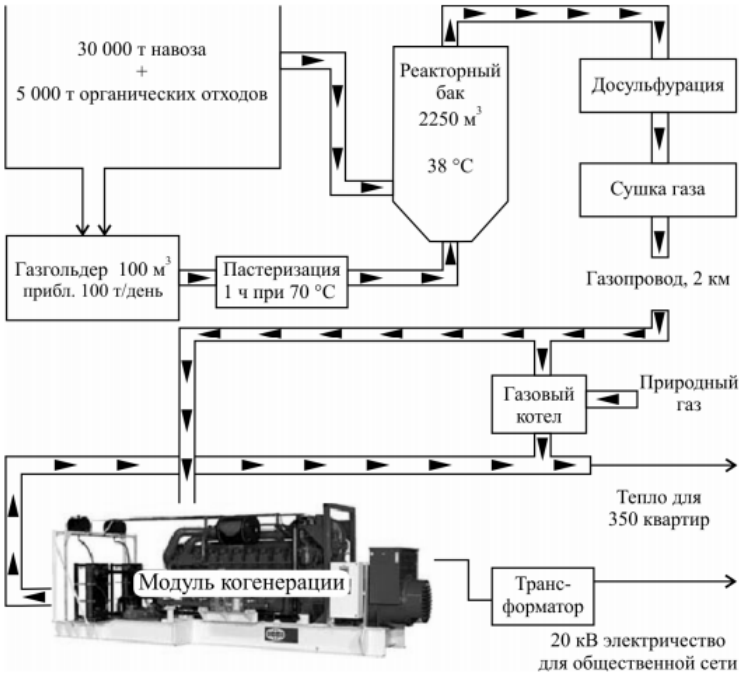


Рисунок 9 – Схема получения биогаза в Лахольме (Швеция)

Биогазовые установки в России. Создание многоукладного сельскохозяйственного производства в России и появление новых собственников в лице фермеров и самостоятельных крестьян потребовало разработки, создания и освоения производства биогазовых систем небольшой мощности и простых в эксплуатации. Такие установки разработаны АО Центр «ЭкоРос» [41, 55].

Это индивидуальная биогазовая установка для крестьянской семьи ИБГУ-1 и автономный биогазэнергетический блок-модуль БИОЭН-1 для

фермерского хозяйства или животноводческих ферм на 25 голов крупного рогатого скота (КРС). В 1992 году АО «Стройтехника – Тульский завод» освоил производство опытных партий ИБГУ-1. В 1993 году опытную партию выпустил машиностроительный завод в г. Юрга Кемеровской области.

В настоящее время произведено и реализовано 65 комплектов ИБГУ-1, которые работают в Московской, Тульской, Ярославской, Ленинградской, Кемеровской, Нижегородской областях, Алтайском крае, Республике Чувашия, а также в Республике Казахстан (Алматинская область).

В состав комплекта ИБГУ-1 входят:

- биореактор-метантенк вертикального типа с рабочим объемом 2 м;
- газгольдер «мокрого» типа объемом 3 м^3;
- загрузочный механизм (ручная таль);
- лестница-эстакада;
- приемник для жидких удобрений на 1 м$^{3;}$
- ковш- тележка на 50 кг.

Установка ИБГУ-1 работает в полупериодическом режиме с ежесуточной загрузкой 200 кг органических отходов с влажностью 85 %. Температура ферментации 52–55 °С. Температурный режим поддерживается с помощью ТЭНов, вмонтированных в водяную рубашку, окружающую биореактор. Суточное потребление энергии не более 15 кВт·ч при размещении биореактора в помещении. ИБГУ-1 производит до 10–12 м^3 /сут биогаза, содержащего 60 % метана и 40 % углекислого газа. Экономия энергии, произведенной в виде биогаза (230–276 тыс. кДж), против затраченной (59 тыс. кДж), составляет 4– 5 раз. Годовой выход биогаза 3600 м^3, что эквивалентно замещению 2,3–2,5 т мазута [27].

Годовой выход экологически чистых органических удобрений, не содержащих нитритов, нитратов, семян сорняков, патогенной микрофлоры и яиц гельминтов (сертификат Московской областной эпидемиологической станции), составляет 72 т при стоимости на внутреннем рынке России в 1995

году 72 млн руб. Окупаемость установки не более 0,5 года. Применение таких удобрений в Московской, Тульской и Кемеровской областях в сезонах 1993 – 1995 годов показало увеличение урожайности по разным культурам (от клубники до картофеля) в 2–4 раза.

Установка может работать в любых климатических зонах России и устанавливаться на любом крестьянском подворье, имеющем электроснабжение. Опыт, накопленный при эксплуатации ИБГУ-1, и требования развивающегося рынка подобных систем позволили перейти к разработке и созданию полностью автономных биогазовых установок, не зависящих от централизованного электроснабжения.

АО Центр «ЭкоРос» в 1994 году при животноводческом комплексе КРС «Поярково» АО Агрофирмы «Искра» Солнечногорского района Московской области ввел в эксплуатацию автономный биогазэнергетический блок-модуль БИОЭН-1 по переработке отходов 20–25 голов КРС. БИОЭН-1 комплектуется из четырех биореактор-метантенков общим объемом 8,8 $м^3$, которые при серийном производстве будут заменены на два биореактора-метантенка общим объемом 10 $м^3$; четырех газгольдеров «мокрого» типа общим объемом 12 $м^3$, которые будут заменены на два газгольдера по 6 $м^3$ каждый; биогазэлектрогенератора мощностью 4 кВт (на базе серийно выпускаемого бензоэлектрогенератора АБ-4Т/400-М2 Вяземского электромеханического завода Смоленской области, документация АО «Агродизель», Москва); агрегата отопительного газового водогрейного АОГВ-23,2-1 тепловой мощностью 23 кВт, серийно выпускаемого Жуковским машиностроительным заводом (г. Жуковский Московской обл.); инфракрасной газовой беспламенной горелки тепловой мощностью 5 кВт с КПД 95 %, бытовой газовой четырехкомфорочной плиты. Количество перерабатываемого сырья до 1 т/сут. отходов КРС при влажности 85 %; выход биогаза – 40 м/сут.; количество вырабатываемой электроэнергии 80 кВт·ч переменного тока напряжением 220–380 В,

частотой 50 Гц; количество вырабатываемой тепловой энергии в сутки 230 кВт·ч/руб., что достаточно для отопления 120 – 140 $м^2$ жилой площади; количество вырабатываемых жидких экологически чистых органических удобрений до 1 т/сут. Затраты на поддержание оптимальной температуры ферментации 52–55 °С не более 30 % вырабатываемого биогаза в зимнее время. Выход товарного биогаза 70 % [19, 44].

Особенности ИБГУ-1 и БИОЭН-1 состоят в том, что они предназначены для серийного производства, в полной заводской готовности. Монтаж ИБГУ-1 занимает не более 2–3 дней, монтаж БИОЭН-1 – 7–10 дней. Выход на рабочий режим обеих систем 3–5 сут. Процесс непрерывный, легко прекращается и возобновляется.

2.4.2 Ферментеры

В современном мире множество продуктов и веществ производится из других составов с помощью микроорганизмов. Конечно же, это происходит не само собой, а в специальных микробиологических лабораториях. Процесс, который осуществляют в этом случае микроорганизмы, называется *ферментацией*, а прибор, в котором они находятся в это время, называется *ферментер*(рис. 10) или *биореактор*.

Ферментеры снабжены паровой рубашкой, мешалками, стерилизующими воздушными фильтрами, отбойниками, обеспечивающими необходимые температурный, газовый режим, гидродинамическую обстановку в биореакторе (то есть процессы массо - и теплообмена) [40].

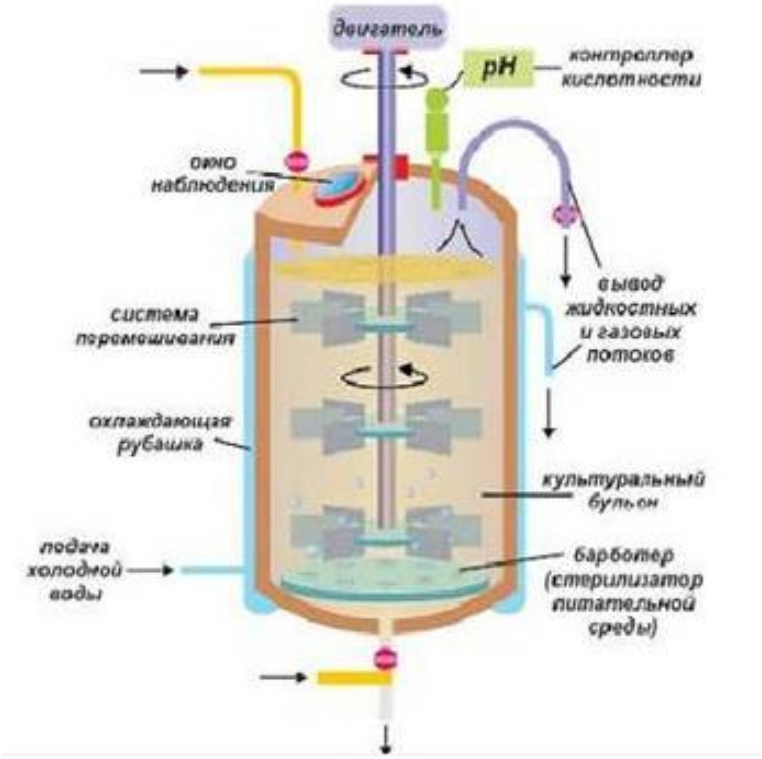


Рисунок 10 – Общая схема ферментера

Конструкции ферментеров (биореакторов). В микробиологических производствах в зависимости от особенностей процесса применяют разнообразные ферментеры, или биореакторы. Аппараты для аэробной поверхностной ферментации широко применяются для производства органических кислот. Поверхностная жидкофазная ферментация протекает в так называемых бродильных вентилируемых камерах, в которых на стеллажах размещены плоские металлические кюветы. В кюветы наливают жидкую питательную среду (высота слоя составляет 80–150 мм), затем с потоком подаваемого воздуха среду инокулируют спорами продуцента. В камере стабилизируется влажность, температура и скорость подачи воздуха. После завершения процесса культуральная жидкость сливается из кювет через вмонтированные в днище штуцеры и поступает на обработку. При *твердофазной* ферментации процесс также протекает в вентилируемых камерах, но вместо кювет на стеллажах размещают лотки, в которые насыпают сыпучую твердую среду слоем 10–15 мм. Для лучшей аэрации

среды подаваемый в камеру воздух проходит через перфорированное днище лотков [57].

Аппараты для аэробной глубинной ферментации наиболее сложны как конструкционно, так и с точки зрения их эксплуатации. Главная задача - обеспечение высокой интенсивности массо и энергообмена клеток со средой. По структуре потоков ферментеры (биореакторы) могут быть аппаратами полного перемешивания или полного вытеснения.

Конструктивные различия ферментеров (биореакторов) определяются в основном способами подвода энергии и аэрации среды:

- ферментеры (биореакторы) с подводом энергии к газовой фазе;
- ферментеры (биореакторы) с подводом энергии к жидкой фазе;
- ферментеры (биореакторы) с комбинированным подводом энергии.

Ферментеры (биореакторы) с подводом энергии к газовой фазе.

В аппаратах этого типа аэрация и перемешивание культуральной жидкости осуществляются сжатым воздухом, который подается в ферментер (биореактор) под определенным давлением. К таким ферментерам (биореакторам) относят:

- барботажные ферментеры (биореакторы), подача воздуха в которых осуществляется через барботажные устройства, расположенные в нижней части аппарата;
- аппараты с диффузором (эрлифтные аэраторы), имеющие внутренний цилиндр-диффузор, который обеспечивает перемешивание поступающих по распределительным трубам в нижнюю часть аппарата субстрата и воздуха;
- трубчатые ферментеры (биореакторы) (газлифтные), состоящие из реактора кожухотрубчатого типа, через который жидкость потоком воздуха перемещается в верхнюю часть аппарата и, попадая в сепаратор, возвращается в реактор, где снова увлекается воздухом, подвергаясь таким образом циркуляции;

– ферментеры (биореакторы) с форсуночным воздухораспределением, оборудованные форсунками для подачи воздуха, расположенными в нижней части аппарата, и находящимся над ними диффузором, который обеспечивает внутреннюю циркуляцию жидкости;
– ферментеры (биореакторы) колонного типа, представляющие собой цилиндрическую колонну, разделенную горизонтальными перегородками (тарелками) на секции; воздух барботирует через слой жидкости каждой тарелки, а перемещение жидкости через кольцевую щель обеспечивает противоточное движение жидкой и газовой фаз.

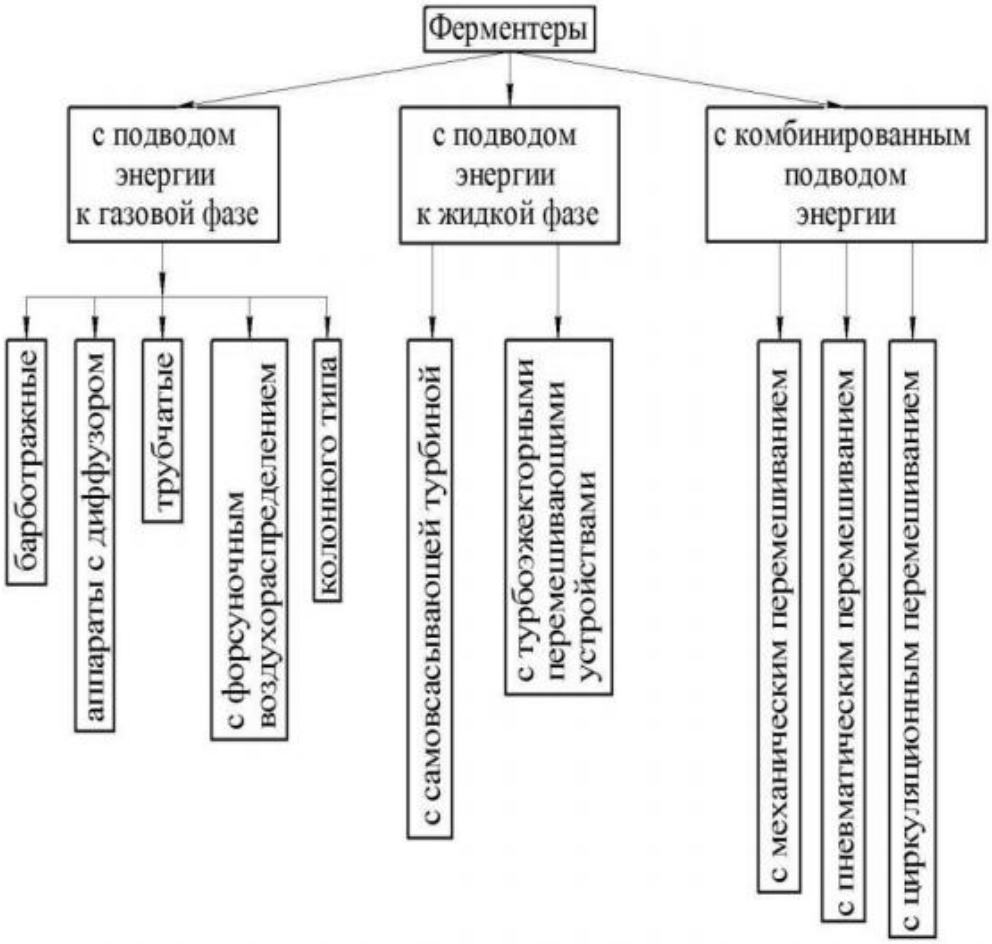


Рисунок 11 – Классификация ферментеров

Ферментеры (биореакторы) с подводом энергии к жидкой фазе.

К таким аппаратам относят:

- аппарат с самовсасывающей турбиной, имеющий цилиндрический диффузор и мешалку с полыми лопастями и валом, при вращении которой за счет создаваемого разрежения происходит самовсасывание воздуха, благодаря чему происходит подъем жидкости в кольцевом зазоре между диффузором и стенками аппарата с последующим ее возвращением в диффузор;
- ферментер (биореактор) с турбоэжекторными перемешивающими устройствами — аппарат, разделенный вертикальными перегородками на секции, в каждой из которой имеется самовсасывающая мешалка турбинного типа (эжектор) и диффузор; для перемещения жидкости из секции в секцию в перегородках сделаны окна.

Ферментеры (биореакторы) с комбинированным подводом энергии

В этих аппаратах осуществлен подвод энергии к газовой фазе для аэрации и к жидкой фазе для перемешивания. Ферментер (биореактор) представляет собой цилиндрический сосуд, снабженный механической мешалкой и барботером, который устанавливается, как правило, под нижним ярусом мешалки. Используется также классификация биореакторов по способу перемешивания, в соответствии с которой используются аппараты с механическим, пневматическим и циркуляционным перемешиванием [11, 54].

Аппараты с механическим перемешиванием имеют механическую мешалку, состоящую из центрального вала и лопастей различной формы. Аэрация может осуществляться путем барботажа. Разбрызгиванию воздуха в виде мелких пузырьков способствует механический вибратор, установленный рядом с барботером [16, 32].

Аппараты с пневматическим перемешиванием. Перемешивание и аэрация усиливаются с помощью вращающихся дисков с отверстиями,

установленных вблизи барботера, или с помощью придонных пропеллеров. Классический эрлифтный аппарат дополнен диффузором, нижний обрез которого находится над барботером. Возможны варианты подачи воздуха как во внутренний, так и во внешний по отношению к диффузору объем среды.

Аппараты с циркуляционным перемешиванием содержат устройства (насосы, эжекторы), создающие направленный ток жидкости по замкнутому контуру. Насос для циркуляции культуральной жидкости может соседствовать с барботером (сочетание пневматического и циркуляционного перемешивания). Существуют разные варианты такого типа аппаратов: аппараты типа «падающей струи», типа «погруженной струи», перемешивание с помощью эжектора. Аппараты циркуляционного типа часто заполняют твердыми частицами (насадкой).

Ферментеры (биореакторы) обычно представляют собой герметические цилиндрические емкости, высота которых в 2–2,5 раза превышает диаметр. Чаще всего их изготовляют из нержавеющей стали. Для поддержания температуры в аппарате имеется двойной кожух или теплообменник типа змеевика.

Главное требование к аппаратам - сохранение стерильности, поэтому они должны быть герметичными, все линии трубопроводов должны быть доступны для обработки горячим паром. Рабочий объем ферментера (биореактора) обычно не превышает 7/10 общего объема.

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ЖИВОТНОВОДЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

3.1 Разработка технологических решений по переработке отходов АПК с получением биогаза и удобрений

Анализ литературных источников и патентный поиск показали, что развитие технологий получения биогаза идет в разных направлениях, среди которых наиболее перспективными являются: совершенствование закваски; применение специальных активаторов процесса; регулирование температурного режима; создание оригинальных конструкций биореактора (ферментера), газового накопителя (газгольдера); повышение стабильности и надежности функционирования биогазовой установки в целом.

На основе сравнительного анализа технологий, оборудования и путей интенсификации процесса нами разработан технологический комплекс, состоящий из четырёх модулей (рисунок 12).

Модуль I – Модуль анаэробного сбраживания с получением биогаза представлен следующей технологической схемой: накопитель отходов – гидролизная установка – биореактор (ферментёр) – система очистки биогаза – газонакопитель.

Особенностью установки анаэробного сбраживания является то, что гидролизная установка отделена от биореактора. Отходы АПК направляются в накопитель, далее в гидролизную установку, вынесенную за пределы ферментера – биореактора. В гидролизной установке происходят процесс гидролиза – окисления под действием гидролизных бактерий с образованием жирных кислот. Далее сбраживаемая масса поступает в ферментер – биореактор, где происходит процесс переработки жирных кислот метанобразующими бактериями с выделением биогаза.

Такое разделение биогазовой установки на два блока обусловлено тем, что гидролизные бактерии представляют собой весьма стойкие (живучие) колонии микроорганизмов, которые очень быстро размножаются в питательной среде. Нормальным является удвоение их числа в течение нескольких часов. Анаэробные (метанобразующие) бактерии размножаются гораздо медленнее. Если гидролизные бактерии получают большое количество питательного вещества, то они вырабатывают такое количество жирных кислот, которое анаэробные бактерии не успевают переработать. Это приводит к перекислению содержимого ферментера, падению показателя pH и в критической ситуации к срыву всего процесса.

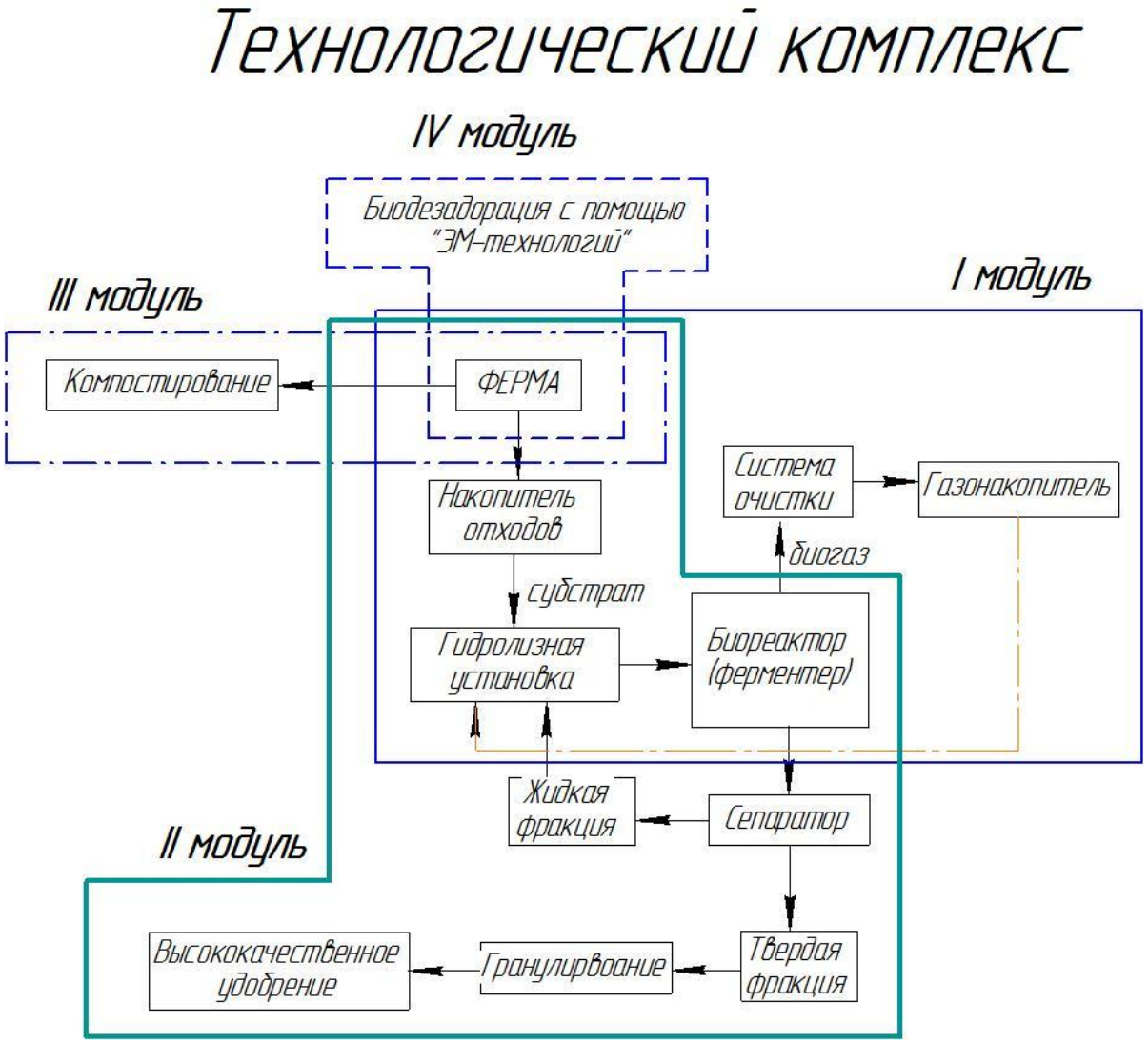


Рисунок 12 – Модули технологического комплекса дезодорации, получения биогаза и удобрений из отходов АПК

Отличительной особенностью предлагаемой к внедрению технологии является наличие в составе биогазовой установки блока гидролиза. Это герметичный резервуар с отоплением, смесителем, насосной станцией и входным сепаратором. Гидролизный блок подключен к входу ферментера. Приготовленная в гидролизном блоке биомасса насосом подается в ферментер непрерывно или через определенные промежутки времени, например, несколько раз в сутки. Наибольшая интенсивность выделения газа получается, когда в ферментер добавляют столько биомассы, сколько уже разложилось. Процесс подачи биомассы в ферментер регулируется автоматически.

Перенос процесса гидролиза из ферментера в отдельный резервуар придает преимущества биогазовой установке и позволяет:

- получать биогаз с более высоким содержанием метана (около 70%);
- обеспечить стабильную и безаварийную работу всей системы в целом;
- избежать образования в ферментере плавающего слоя и необходимости его перемешивания;
- использовать субстраты, содержащие целлюлозу;
- повысить газоотдачу из биосырья растительного происхождения (солома, трава, кормовые отходы и т.д.) за счет разложения целлюлозы;
- осуществлять переход на другое сырье, независимо от его качества;
- повысить удельную загрузку ферментера и, как следствие, уменьшить его размер, а значит и расходы на строительство;
- сжигать твердые отходы гидролиза (лигноцеллюлоза), так как они не содержат минералов, получая при этом дополнительную энергию.

Разделение процесса на две стадии позволит регулировать процесс в зависимости от технологических особенностей процесса метаногенеза.

Кроме того, для интенсификации процесса можно использовать биоактиваторы процесса.

Полученные тепловая и электрическая энергия могут быть использованы для работы биогазовой установки. Излишки планируется использовать на отопление и освещение животноводческих помещений, жилых домов, теплиц и т.д. либо продавать сторонним потребителям. После сбраживания субстрата содержание питательных веществ в шламе увеличивается на 15% по сравнению со свежим навозом. При этом в полученном удобрении уничтожаются гельминты и болезнетворные бактерии, семена сорных трав. Такое органическое удобрение может применяться без традиционных выдержек и хранения.

После сепарации жидкий шлам применяется для полива при выращивании сельскохозяйственных культур, повышая урожайность от 40 до 120%, а также подается для смешивания со свежим субстратом на стадии гидролиза. Избытки жидкой фракции подвергаются очистке до достижения показателей слива, отвечающих нормам на сброс в водоемы рыбохозяйственного значения, либо эта вода может быть использована для технических нужд [17, 21].

В процессе работы биогазовой установки выделяется биогаз, химический состав которого приведен в таблице 15.

Таблица 15 – Химический состав биогаза

Вещество	**Химическая формула**	**Содержание, %**
Метан	CH_4	40,0 - 70,0
Углекислый газ	CO_2	25,0 - 55,0
Водяной пар	H_2O	0 - 10,0
Азот	N_2	< 5,0
Кислород	O_2	< 2,0
Водород	H_2	< 1,0
Сероводород	H_2S	< 1,0
Аммиак	NH_3	< 1,0

Удельная теплота сгорания биогаза 5500 – 6500 ккал/м^3.

Энергия, заключенная в одном кубическом метре биогаза, эквивалентна энергии 0,6 м^3 природного горючего газа; 0,74 л нефти; 0,65 л

дизельного топлива; 0,48 л бензина. При применении биогаза экономятся также мазут, уголь, электроэнергия и другие энергоносители. Внедрение биогазовых установок улучшает экологическую обстановку на животноводческих фермах, птицефабриках и на прилегающих территориях; предотвращаются вредные стоки в балки, озера, овраги, в малые и крупные реки – где вследствие этого улучшается среда обитания.

Выход биогаза ($м^3$) из одной тонны отходов приведен в следующей таблице 16.

Таблица 16 – Выход биогаза из 1 т отходов

Биоматериал, одна тонна	**Биогаз, $м^3$**
Навозная жижа КРС	45,0
Свиная навозная жижа	60,0
Переработанное зерно спиртовой и пивной промышленности	65,0
Навоз КРС, смешанный с соломой	70,0
Ботва от свеклы	75,0
Птичий помет	80,0
Отходы свекольного производства	88,0
Биомусор	100,0
Биоотходы сахарного производства	115,0
Отходы от уборки ржи	165,0
Свиной навоз, смешанный с навозом КРС	180,0
Отходы производства от кормовой свеклы	200,0
Кукурузный силос	250,0
Травяной силос	300,0
Отходы бойни	350,0

Удобрение, получаемое в жидком виде, может быть внесено в почву, может быть высушено и гранулировано, при необходимости брикетировано. При смешении в определенных пропорциях с различными составляющими могут быть получены компосты, почвенные смеси для теплиц и т.д. [12, 41].

Мы предлагаем включить в технологический комплекс модуль по получению высококачественных удобрений путём обогащения шлама, полученного в результате процесса метаногенеза с последующим гранулированием удобрений.

Применение этих удобрений обеспечит увеличение урожайности от 20 до 350% по различным культурам. При этом уменьшается необходимость применения минеральных удобрений (можно полностью их заменить) и пестицидов, что позволяет вести процесс выращивания различных культур экономически более эффективно и получать продукцию с улучшенными потребительскими свойствами – экологически чистые продукты питания [11, 76].

По сравнению с традиционно используемым навозом получаемое удобрение полностью обеззаражено, лишено семян сорняков, не имеет запаха.

Азот (N), содержащийся в исходном сырье, практически весь сохраняется в составе удобрений в аммонийной форме, более доступной для питания корневой системы растений. Коэффициент использования достигает 80% по сравнению с 30% для свежего навоза.

Фосфор (P) представлен фосфатами и нуклеопротеидами, которые усваиваются растениями лучше, чем соли минеральных удобрений.

Калий (K) в составе соединений полностью доступен растениям.

Под воздействием микробиологических культур, содержащихся в удобрениях, в почвах происходит образование гумусовых материалов, улучшаются качественные характеристики почвы: степень аэрации, инфильтрационная и водоудерживающая способности. Удобрение оказывает комплексное воздействие на растения и почву. Степень усвояемости питательных веществ растениями значительно увеличивается. Неусвоенные остатки представляют собой органические продукты с живой микрофлорой, которая продолжает перерабатывать органику, способствуя образованию гумуса и повышению плодородия почв. Применение такого удобрения экономически очень выгодно [13, 48].

Модуль II – Модуль получения органоминеральных удобрений

Второй модуль комплекса представляет собой технологию получения органоминеральных удобрений (рисунок 13).

На основе патентного анализа (Приложение) предложена технологическая схема подготовки и гранулирования органо-минеральных удобрений, получаемых из шлама биореактора. Технология получения удобрений включает в себя следующие стадии:

Сырьё подвозится автотранспортом (либо погрузчиком) и ссыпается на механизированный склад "подвижный пол" (1).

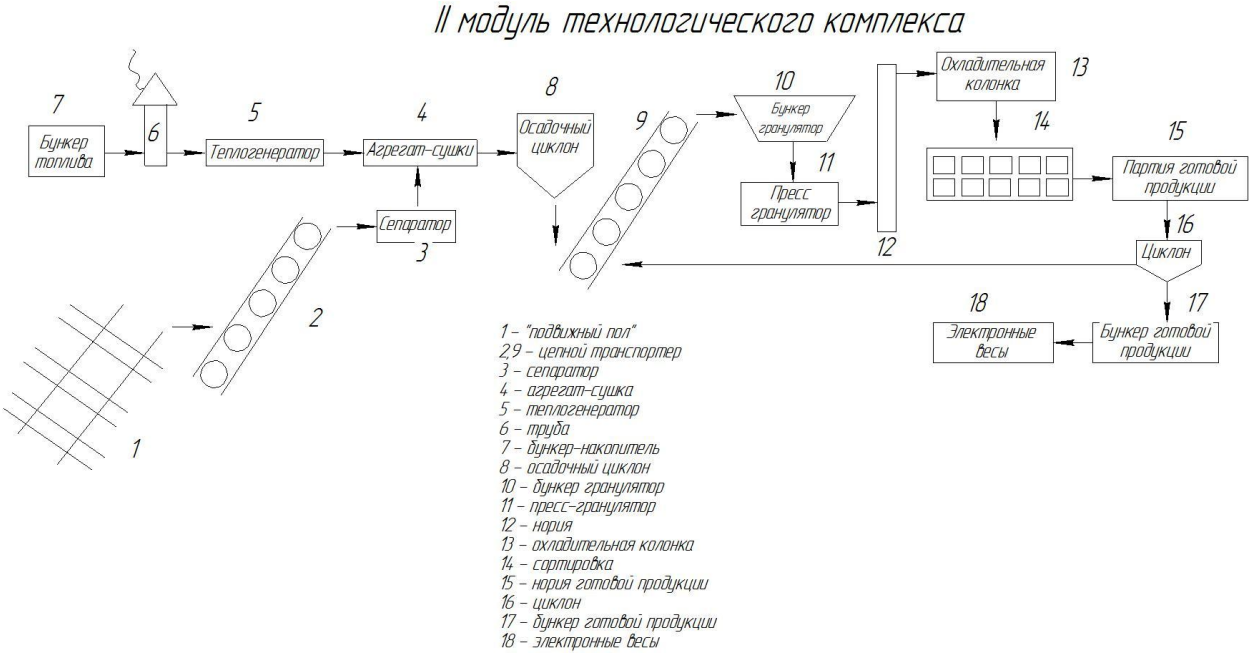


Рисунок 13 – Технология получения органоминеральных удобрений

Стокеры подвижного пола имеют гидравлический привод и под его действием совершают возвратно-поступательные движения. Лопатки ("крылья") стокеров имеют клиновидную форму, поэтому при движении стокеров сырье с регулируемой скоростью подачи направляется к цепному (скребковому) транспортеру (2), далее сырье подается на дисковый сепаратор (3).

На нем от сырья отделяется камни, примеси, которые попадают в переносной контейнер, а сырьё через самотёк попадает в загрузочную

секцию агрегата сушки-измельчения (4). Сюда же подаются продукты горения из теплогенератора (5) и засасывается холодный атмосферный воздух через аварийно-растопочную трубу (6).

Затем теплоноситель смешивается с влажным сырьем и засасывается в агрегат сушки-измельчения (4). В нем сырье измельчается и затем высушивается, поднимаясь в потоке теплоносителя к динамическому классификатору, находящемуся в головной секции агрегата сушки-измельчения.

Измельчённое и высушенное сырьё (с этого момента его принято называть мукой) засасывается в осадочный циклон (8) за счет разряжения, создаваемого дымососом. В циклоне мука осаждается за счет центробежной силы и двигается вниз.

Из циклона мука через шлюзовой затвор подаётся в шнековый или цепной транспортер (9), далее поступает в бункер гранулятора (10).

Внутри бункера находится устройство, препятствующее слеживанию муки. Из бункера мука подается шнековым питателем с регулируемой скоростью подачи в смеситель (кондиционер) пресса, сюда же подается вода (либо пар). В смесителе происходит кондиционирование продукта, т.е. доведение влажности муки до уровня, необходимого для процесса гранулирования. Из смесителя увлажненная мука через отделитель ферромагнитных примесей выводится в пресс-гранулятор (11). В камере прессования мука затягивается между вращающейся матрицей и прессующими вальцами и продавливается в радиальные отверстия матрицы, где под действием большого давления происходит формирование гранул. Выдавленные из отверстий гранулы наталкиваются на неподвижный нож и обламываются. Обломанные гранулы падают вниз и через рукав кожуха выводятся из пресса.

Гранулы, выходящие из пресса, имеют высокую температуру и непрочны, поэтому они транспортируются норией (12) в охладительную

колонку (13). Здесь через слой гранул вентилятором циклона (16) всасывается воздух, который охлаждает гранулы и одновременно отсасывает часть несгранулированной муки в циклон. В процессе охлаждения влажность гранул уменьшается за счет испарения влаги, и в гранулах происходят физико-химические изменения. В результате они приобретают необходимую твердость, влажность и температуру. Из охладительной колонки, по мере ее наполнения, гранулы поступают на сортировку (14), где происходит отделение кондиционных гранул от крошки.

Гранулы выводятся через выгрузную горловину и подаются на норию готовой продукции (15), а крошка отсасывается в циклон (16) и далее направляется вместе с мукой на повторное прессование. Норией готовой продукции гранулы подаются в бункер готовой продукции (17). Под этим бункером расположены электронные весы (18), а на стойках бункера имеются крючки для вывешивания мешка. Заполненные мешки погрузчиком или гидравлической тележкой транспортируются на склад готовой продукции.

Модуль III – Модуль компостирования

Третьим модулем разрабатываемого нами технологического комплекса является модуль получения компоста. На основе патентного поиска нами предложена конструкция компостёра – биоферментатора.

Биоферментатор представляет собой прямоугольное сооружение, выполненное из кирпича, железобетона или других строительных материалов, оснащенное системой принудительной подачи воздуха в ферментируемую смесь. Работает в периодическом режиме

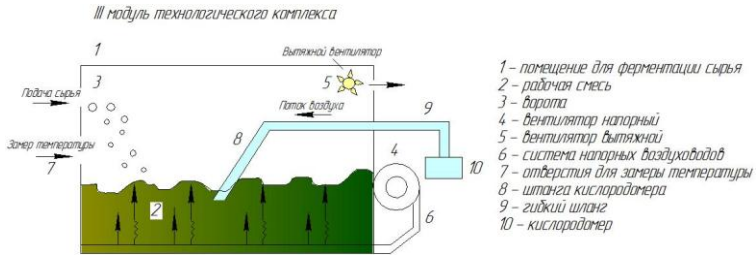


Рисунок 14 – Технология получения компоста

Для интенсификации процесса компостирования предлагается применение биоактивных добавок. Специализированные биологические добавки могут содержать ЭМ-препараты, ферменты, микроорганизмы, выделенные из компоста или специально селекционированные штаммы — деструкторы целлюлозы, лигнина, белков и других биополимеров. Добавки на основе аборигенной компостной микрофлоры можно получать методом накопительной культуры на компостируемых субстратах, например, в аппаратах с принудительным перемешиванием и аэрацией. Полученную «закваску» вносят в основную компостную массу. Такой метод может использоваться для ускорения компостирования и обезвреживания материалов, загрязненных ксенобиотиками (пестицидами, нефтепродуктами и т. п.). Сокращение продолжительности компостирования возможно и при орошении компоста водным экстрактом из готового компоста.

Модуль IV – Модуль биодезодорации. Применение ЭМ-технологий

Применение ЭМ-технологии для дезодорации и улучшения микроклимата животноводческих комплексов - наиболее перспективно. Для решения этой проблемы можно применить специально разработанные эффективные микробиологические препараты, которые позволяют снизить уровень неприятных запахов в животноводческих помещениях.

Агрохолдинг «Талина» в 2007 году провел исследования на свинокомплексах по применению микробиологических препаратов, ускоряющих процесс переработки бесподстилочного навоза. В процессе эксперимента специалисты исследовали бесподстилочный жидкий навоз свиноводческого комплекса с влажностью 94-95%, обработанный микробиологическим препаратом «Тамир», и навоз без обработки препаратом. Основная задача – определение эффективности применения микробиологического препарата «Тамир» для снижения образования вредных газов на свинокомплексе (секции содержания 2300 животных на откорме). Суть исследования заключалась во внесении микробиологического

препарата в ванны-навозоудаления в бесподстилочный навоз с последующим мониторингом изменения концентраций аммиака (NH_3) и сероводорода (H_2S) в воздухе рабочей зоны.

Микробиологический препарат «Тамир» - это сложный по функциональной активности и составу комплекс природных микроорганизмов, в состав которого входят Lactobacillus casei 21; Streptococcus lactis 47; Phodopseudomonas palistris 108; Caccaromyces cerevisiae 76 и сапрофитные микроорганизмы, способствующие более активному разложению органических отходов.

Схема эксперимента состояла в еженедельной обработке бесподстилочного жидкого навоза микробиологическим препаратом «Тамир» в течение 2,5 месяцев.

В результате эксперимента было установлено, что при применении микробиологического препарата «Тамир» концентрация аммиака в опытной секции снизилась на 84,9% с 58,3 мг/м^3 до 8,8 мг/м^3, т.е. если первоначально превышение ПДК аммиака составляло 2,9 раз (класс опасности труда – 3.2.), то при применении микробиологического препарата в течение 2,5 месяцев концентрация аммиака в воздухе рабочей зоны не превышала ПДК ГН 2.2.51313-03 «Гигиенические нормативы. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны» (класс условий труда – 2). В контроле за три месяца снижение концентрации аммиака за счет механической вентиляции составляло 36,2% по сравнению с первоначальным (с 33,9 мг/м^3 до 21,6 мг/м^3), однако все равно концентрация аммиака превышала уровень ПДК в 1,08 раз.

При еженедельном применении микробиологического препарата «Тамир» в течение 2,5 месяцев произошло снижение концентрации сероводорода в опытной секции на 93,6% с 12,6 мг/м^3 до 0,8 мг/м^3, т.е. если первоначально превышение ПДК сероводорода составляло 1,3 раз, что является нарушением ГН 2.2.51313-03 (класс опасности труда – 3.2.), то при

применении микробиологического препарата концентрация сероводорода в воздухе рабочей зоны не превышала нормативы (класс условий труда – 2). В контрольной секции, за 3 месяца снижение концентрации сероводорода составило лишь 16,3% по сравнению с первоначальным.

Испытание биологического препарата «Тамир» проводилось и на сельскохозяйственном предприятии ООО «Урак» в д. Султанмурат Аургазинского района Республики Башкортостан. Испытание проводилось на способность препарата «Тамир» устранять неприятные запахи, в том числе аммиачный, в помещениях животноводческого комплекса ООО «Урак», где содержались новорожденные телята в количестве 18 голов на площади 60 м кВ [37, 64].

Определение степени 80% эффективности дезодорации оценивалось в 4 крестах «++++» и выглядело так:

Таблица 18 – Эффективность ЭМ-препарата при дезодорации помещения животноводческого комплекса

Количество суток	Оценка - степень	Примечание
1	«- - - -»	Запах сохранялся
2	«++- -»	Запах убывает
3	«+++ -»	Запах резко уменьшился
4	«++++»	Нейтральный запах
5	«++++»	
6	«++++»	
8	«++++»	
10	«++++»	

Испытание биологического препарата «Тамир» проводилось и на сельскохозяйственном предприятии ООО «Урак» в д. Султанмурат Аургазинского района Республики Башкортостан. Испытание проводилось на способность препарата «Тамир» устранять неприятные запахи, в том числе аммиачный, в помещениях животноводческого комплекса ООО «Урак», где содержались новорожденные телята в количестве 18 голов на площади 60 м^2.

Параметры помещения на начало опыта составляли:

- температура - 14 градусов по Цельсию;
- влажность воздуха – 61 %;
- применялась принудительная вентиляция для отвода аммиачных паров и неприятных запахов.

Для опыта использовалось 350 мл препарата «Тамир», разбавленного водой в соотношении 1:100, при температуре воды 24 градуса по следующей схеме:

- раствором в количестве 15 л методом мелкодисперсного распыления равномерно обработали все поверхности помещения, пол, потолок, стены и перегородки;
- раствор в количестве 20 л разлили равномерно в подстилку из соломы под телят;
- принудительную вентиляцию отключили.

Параметры помещения на окончание опыта составили:

- температура – 17 градусов по Цельсию;
- влажность воздуха – 72 %;
- принудительная вентиляция была отключена и не включалась.

Как видно из таблицы, неприятный запах, в том числе и аммиака, стал пропадать на вторые сутки, существенно уменьшился на 3-е и 4-е сутки, на 5-е, 6-е и последующие сутки присутствие неприятных запахов, в т. ч. аммиака, не наблюдалось.

Присутствовал нейтральный запах сложного эфира (хлебный квас). Температура в помещении поднялась на 3 градуса и составила 17 градусов, достигнув комфортной температуры для содержания телят.

Влажность увеличилась на 11 % и достигла 72 %, что более благоприятно для развития телят.

Препарат «Тамир» оказался эффективным средством по устранению неприятных запахов, в том числе и аммиачного запаха, являющимся стрессовым компонентом для животных.

Уменьшился расход электроэнергии на вентиляцию помещения.

Уменьшился расход тепла из-за повышения температуры.

Влажность воздуха стала соответствовать санитарным нормам для оптимального развития телят.

Рисунок 15 – Применяемые средства при выполнении опыта

Для определения влияния ЭМ-препарата на процесс дезодорации (исчезновение запаха) нами проводились экспериментальные исследования. В качестве ЭМ-препаратов использовался биопрепарат Байкал ЭМ 1, состоящий из комплекса полезных микроорганизмов, в состав которого входят Lactobacillus casei 21; Phodopseudomonas palistris 108 и другие сапрофитные микроорганизмы, способствующие более активному разложению органических веществ.

В ходе эксперимента использовался подстилочный материал для домашних животных (туалет для кошек) в виде древесных опилок. Первоначально материал (экскременты кошки) имел резкий специфический запах. Для ликвидации запаха, исходящего от кошачьего помёта проводили

опрыскивание опилок с экскрементами ЭМ-препаратом - "Байкал ЭМ-1". Разводили препарат в пропорции 1:50 (1 чайная ложка на 1 стакан теплой воды). Опрыскивание происходило в течении 3 суток - после чего запах полностью исчезал.

Для более крупных животных, например, в сельском хозяйстве (свиньи, курицы и крупный рогатый скот) мы предлагаем проводить опрыскивание раствором ЭМ-препарата в соотношении 1:250 (на 10 л воды – 40 мл ЭМ-препарата и 40 мл патоки, настоять сутки). Проводить обработку 1 раз в 3–7 дней. После уменьшения запаха концентрацию ЭМ-препарата можно уменьшить до 1:500, и опрыскивание проводить один раз в 10 дней. Расход: 1–2 л ЭМ-раствора на 1 $м^2$ поверхности [83]. Именно эту технологическую схему применения ЭМ-препарата можно эффективно использовать на животноводческом комплексе.

Полученные результаты и анализ литературных источников говорят о высоком потенциале и перспективности внедрения такой технологии на крупных животноводческих предприятиях в России.

Производство биологических ЭМ-удобрений на основе жидкой фракции

В определенных условиях может оказаться выгодным перерабатывать навоз/помет с помощью ЭМ-препарата (эффективные микроорганизмы) в органо-бактериальные ЭМ-удобрения, также относящиеся к классу биоудобрений. ЭМ-технология пригодна для переработки жидких и твердых навозов/пометов. В нашем случае предлагается использовать ЭМ-препараты для обработки жидкой фракции, остающейся после выделения из навоза твердой фракции для ее газификации или жидкого навоза после обеззараживания в генераторе резонаторных колебаний. Обработка ЭМ-препаратом не требует капитальных затрат. ЭМ-препарат целесообразно вносить в навоз/помет после предварительного обеззараживания. Это

значительно сократит сроки и упростит процесс ферментации. Получаемое таким образом ЭМ-удобрение будет относиться к IV-V классу опасности.

Микробиологические ЭМ-препараты содержат комплекс полезных микроорганизмов различных видов (фотосинтезирующие, молочнокислые, дрожжевые, азотфиксирующие и др.). Эти микроорганизмы, воздействуя на навоз/помет, обеспечивают ускоренное протекание процесса его переработки без выделения аммиака, сероводорода, окиси углерода и других вредных веществ. Консорциум аэробных и анаэробных бактерий, являющихся антиподами болезнетворной микрофлоры, подавляет патогенную микрофлору и оздоравливает почву и растения. ЭМ-препарат разлагает органику, растительные остатки, пищевые отходы, навоз и др. в легкодоступные и легкоусвояемые для растений формы, обогащая почву и компосты витаминами, аминокислотами, другими биологически активными веществами. Навоз, обработанный ЭМ-препаратом, целесообразно без санитарной выдержки сразу вывозить на поле, где завершаются процессы ферментации. Это повышает эффективность их действия, поскольку они в несколько раз ускоряют переработку корневых и пожнивных остатков, обогащая почвенную микрофлору. При этом минимизируются объемы промежуточных хранилищ. Микроорганизмы ЭМ-удобрения связывают азот воздуха, интенсифицируют разложение и использование органики для создания оптимальных физических и биохимических условий в почве. Они преобразует минеральный состав почвы в доступные для растений формы, подавляют патогенную микрофлору за счет высокой конкурентоспособности полезной микрофлоры. Повышают иммунитет растений, придавая им антистрессовую защиту от применения химических средств и неблагоприятных погодных условий. Также как и биоудобрение, получаемое анаэробным сбраживанием, ЭМ-удобрение реализует природный механизм обеспечения растений питательными веществами и тем самым позволяет исключить использование химических минеральных удобрений.

ЭМ-препарат полезно вносить в навоз/помет в помещениях, где содержатся животные/птица, поскольку полезные микроорганизмы ЭМ-препарата попутно оказывают благотворное воздействие на здоровье животных. При этом сразу начинают протекать микробиологические процессы переработки навоза без выделения аммиака, сероводорода, окиси углерода, метана и других вредных веществ. Этот фактор будет способствовать оздоровлению микроклимата в помещениях. Одновременно происходит существенное сокращение зараженности навоза патогенной и болезнетворной микрофлорой, которая является пищей для полезных микроорганизмов. В результате, в частности, сокращаются заболевания животных, происходит их общее оздоровление. Нормализуя процесс пищеварения и обмена веществ, оказывая антагонистическое действие в отношении ряда патогенных штаммов, подавляя гнилостные бактерии, ЭМ-культуры положительно влияют на рост, развитие и продуктивность сельскохозяйственных животных.

Автоматизированная система управления отходами АПК

Модульное построение технологического комплекса позволяет конструировать биогазовые установки и ферментёры в зависимости от исходных данных (состава сырья, получаемых продуктов и оптимизирующих условий) с целью наиболее эффективного и комплексного его применения для переработки отходов АПК с максимальными эффектами получения биогаза и удобрений.

Предполагается использование автоматизированной системы управления. Мощность установки рассчитывается исходя из объема отходов, подлежащих утилизации. Все коммуникации одетые в гидро и теплоизоляцию монтируются по поверхности, облегчая тем самым их обслуживание и контроль. Срок технической эксплуатации биогазовой установки составляет не менее 25 лет.

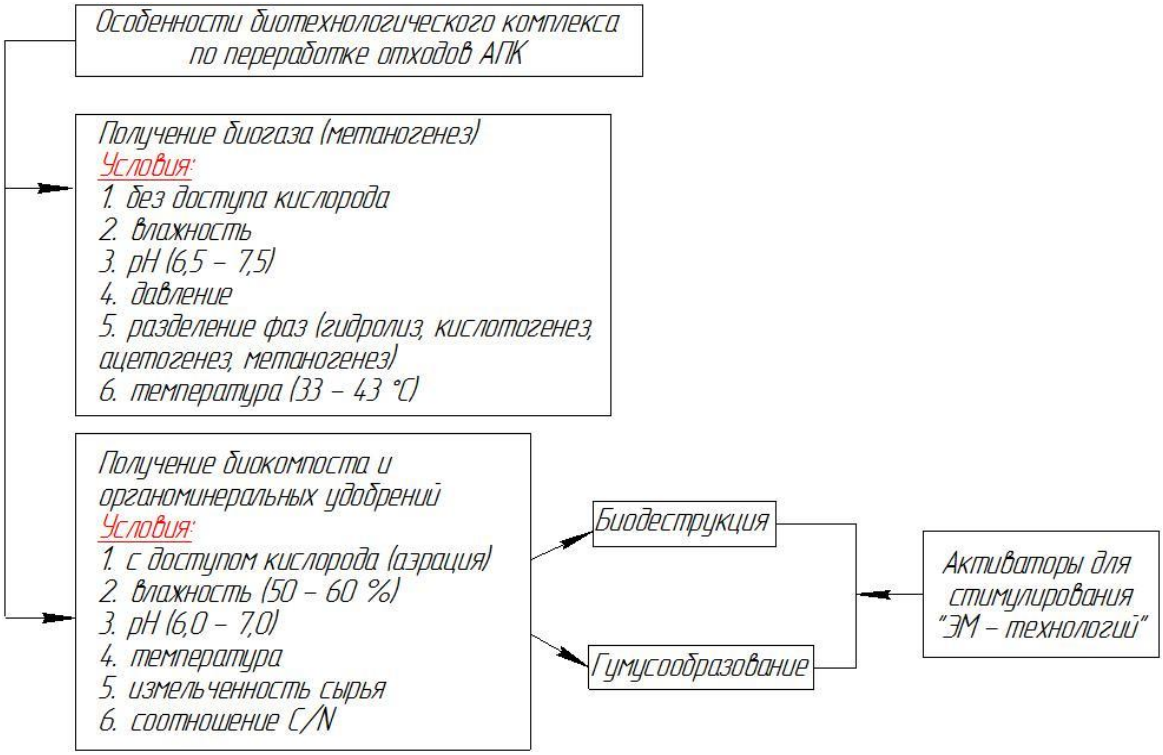


Рисунок 16 – Автоматическое регулирование оптимальных условий процессов метаногенеза и компостирования

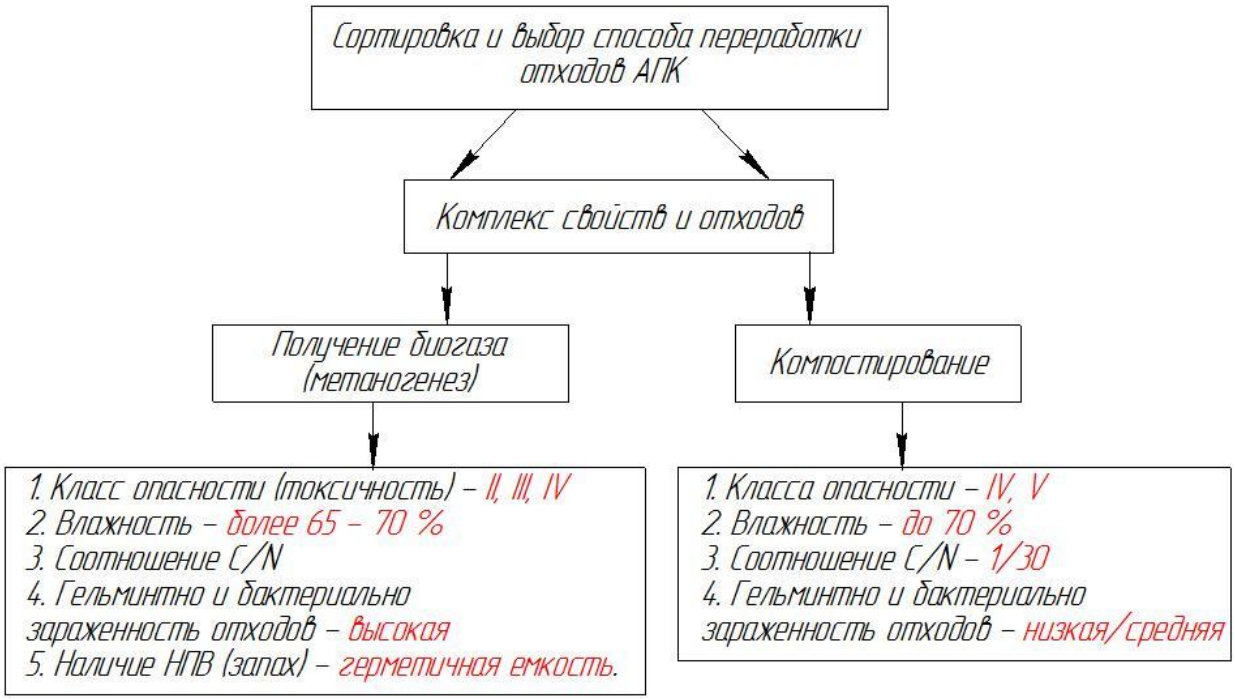


Рисунок 17 – Схема анализа состава отходов АПК и выбора способа утилизации

3.2 Анализ эколого-экономической эффективности предлагаемого комплекса переработки отходов АПК

В ходе проделанной работы нами представлена расходная часть на 1 тонну продукции.

Таблица 19 – Расходная часть на 1 т продукции

Наименование	Единица измерения	Значение показателя
1. Сырье		
1.1. Количество помета, необходимого для производства 1 т удобрений	т	2
1.2. Стоимость помета	руб./т	150
1.3. Себестоимость сырья	руб./т	300
2. Электроэнергия		
2.1. Удельный расход электроэнергии	кВт*ч/т	110
2.2. Цена электроэнергии для предприятий	руб./кВт*ч	4
2.3. Стоимость электроэнергии	руб./т	440
3. Тепловая энергия (от сжигания гранул)		
3.1. Необходимая тепловая мощность для испарения 1 т воды в час	МВт	1
3.2. Количество сжигаемых топливных гранул на 1МВт	кг/час	210
3.3. Количество сжигаемых топливных гранул при 1 МВт мощности	кг/час	210
3.4. Цена древесных топливных гранул	руб./кг	4
3.5. Стоимость тепловой энергии	руб./т	840
4. Заработная плата		
4.1. Количество работников в смене	чел.	3
4.2. Тарифная ставка 1 работника (исходя из 10 т.руб./мес.)	руб./час	60
4.3. Тарифная ставка 1 работника (исходя из 10 т.руб./мес.) с налогами	руб./час	90
4.4. Расходы на заработную плату	руб./т	270

Определим ожидаемую прибыль (условно-годовую экономию) от снижения себестоимости продукции:

$$П_{рож.} = С_{биоуд.} - С_{п}, \quad (1)$$

где

$C_{биоудоб.}$ – рыночная стоимость одной тонны биудобрения.

$$П_{рож} = 8000 - 1850 = 6150$$

Определим налог на прибыль:

$$Н_{прибыль} = П_{рож.} * К_{налог,} \quad (2)$$

где

$К_{нал}$ – ставка налога на прибыль (**20%** или **0,20**).

$$Н_{прибыль} = 6150 * 0,20 = 1230 \text{ рублей,}$$

Чистая ожидаемая прибыль:

$$П_{чист.} = П_{рож.} - Н_{пр.} \quad (3)$$

$$П_{чист} = 6150 - 1230 = 4920 \text{ рублей.}$$

Определим расчетный срок окупаемости капитальных вложений (инвестиций), необходимых для осуществления проекта:

$$Т_{ок.} = К_{общ.} / П_{чист}, \quad (4)$$

где

$Т_{ок}$ – срок окупаемости капитальных вложений

$$Т_{ок} = 21133000/4920 = 4295 \text{ дней} / 365 \sim 12 \text{ месяцев (1 год).}$$

Таблица 20 – Технико-экономические показатели проекта

№ п/п	Показатели	Единица измерения	Значение показателя
1	Производственная мощность	тн/час	**22**
2	Себестоимость продукции	руб.	**1850**
3	Условно-годовая прибыль	руб.	**6150**
4	Капитальные вложения	руб.	**21133000**
5	Чистая прибыль	руб.	**4920**
6	Срок окупаемости	лет	**1 год**

По данным расчетов представляемый проект является эффективным с экономической точки зрения. Расчет произведен без учета прибыли за реализацию удобрений, что дополнительно уменьшит срок окупаемости.

Применение биогазовой установки дает следующие экономические выгоды:

- экономия средств, ранее затрачиваемых на отопление и электроснабжение;
- реализация полученных экологически чистых органических удобрений;
- продажа избытка биогаза;
- отсутствие выплат за размещение помета на территории птицефабрики, согласно нормативам платы за размещение отходов производства и потребления (в ред. Постановления Правительства РФ от 01.07.05 N 410);

Выгоды от применения биогазовой установки на птицефабрике можно оценить на основании денежного дохода, который получается от использования продуктов переработки помета по сравнению с затратами на установку. Следующие эффекты должны переводиться в денежные эквиваленты и учитываться как выгоды:

- затраты, сэкономленные за счет замены покупного природного газа на биогаз;
- доходы с продаж биоудобрений;
- затраты на выплаты за размещение помета на территории птицефабрики.

Расчет затрат на отопление при использовании покупного природного газа за отопительный сезон – 216 дней [43]:

$$З_о = 24 \cdot 216 \cdot n \cdot Q \cdot C, \quad (5)$$

где

n– количество воздухонагревателей;

Q– часовой расход газа воздухонагревателем,$м^3$/час;

C– стоимость $м^3$ природного газа, руб./$м^3$.

$$З_о = 24 \cdot 216 \cdot 10 \cdot 8{,}2 \cdot 3{,}59 = 1526066 \text{ , руб.}$$

Расчет доходов с продажи биоудобрений за год:

$$Д_У = 365 \cdot ДУ \cdot С_У, \quad (6)$$

где

ДУ – суточный объем удобрений, т/сут.;

$С_У$ – цена удобрений, руб./т

$$Д_У = 365 \cdot 20 \cdot 652 = 4759600 \text{ руб.}$$

Затраты на выплаты за размещение помета на территории птицефабрики:

$$З_В = С_{1m} \cdot 365 \cdot ДН, \quad (7)$$

где

$С_{lm}$– выплаты за размещение 1 т помета, руб./т [33];

ДН– объем суточных отходов птицефабрике.

$$З_В = 497 \cdot 365 \cdot 40 = 7256200 \text{ рублей}$$

Таблица 21 – Расчет срока окупаемости технологического комплекса

Наименование	**Единица измерения**	**Значение показателя**
Метан	$м^3$/сут.	173
	$м^3$/год	1515480
Удобрения	т/сут.	20
	т/год	7860
Стоимость удобрений в год	руб.	6385666
Экономия платы за размещение помета на территории птицефабрики	руб.	7256200
Выгода в год	руб.	13541866
Стоимость установки	руб.	13036109,2
Общие затраты	руб.	13036109,2
Срок окупаемости	года	2,7

Дополнительную выгоду можно получить при внедрении следующих мероприятий:

- приобретение оборудования для фасовки удобрений в полиэтиленовые пакеты объемом 5-50 л и их реализация населению;
- приобретение оборудования по сжатию или сжижению очищенного биогаза и продажа его на газовую заправочную станцию;
- использование биогаза для хранения овощей в хранилищах;

- продажа готового продукт «Радуга» населению, фермерским хозяйствам и сельскохозяйственным предприятиям.

Хотя окупаемость биогазовой установки составляет менее трех лет, большой проблемой для птицефабрик является достаточно большие затраты необходимые для её строительства. Выходом в данной ситуации может стать кредитное финансирование строительства биогазовой установки.

Метод ежегодных доходов заключается в определении дохода, который нужно получить от биогазовой установки за каждый год её эксплуатации для её окупаемости за преопределенное количество лет. Для применения метода ежегодных доходов, необходимо определить следующие параметры [9]:

- количество лет, за которое планируется окупить установку;
- годовые затраты;
- начальная стоимость установки;
- процентная ставка.

Количество лет – T

Количество лет определяется исходя из сроков кредита или просто из ваших планов.

Годовые затраты – $З_T$

Годовые затраты состоят из затрат на:

- поддержку и ремонт;
- эксплуатацию установки;
- замены частей установки;
- стоимость инспекций и т.д.;
- присмотр за системой.

И составляют 4% от стоимости установки в год.

Стоимость установки – *СУ*.

Процентная ставка – *ПС*.

При использовании заемных средств это ставка, которую заемщик платит банку, плюс все остальные дополнительные выплаты.

Для строительства биогазовой установки, привлекаются заемные средства сроком на 5 лет, процентная ставка по кредиту составляет 15%.

Количество лет – $T = 5$ лет

Годовые затраты составляют – $З_Г = 0{,}04 \cdot 13036109{,}2 = 521444{,}4$ руб.

Стоимость установки – $СУ = 13036109{,}2$ руб.

Процентная ставка – $ПС = 15\% = 0{,}15$

Рассчитываем минимальный ежегодный доход

$$ГД = СУ \cdot \frac{((ПС \cdot (ПС+1)^T)}{((ПС+1)^T - 1))} + З_Г, \quad (8)$$

$$ГД = 13036109{,}2 \cdot \frac{(0{,}15 \cdot (0{,}15+1)^5)}{((0{,}15+1)^5 - 1))} + 521444{,}4 = 4488475{,}8 \text{ руб.}$$

Годовая прибыль рассчитывается как разница годовой выгоды $ГВ$ и минимального годового дохода $ГД$:

$$ГП = ГВ - ГД, \quad (9)$$

где

ГП - годовая прибыль;

ГВ - годовая выгода;

$$ГП = 13541866 - 4488475{,}8 = 9053390{,}2 \text{ руб.}$$

Расчет показывает, что строительство технологического комплекса (установка для подготовки сырья для реактора, реактор для сбраживания, ферментатор) является экономически и экологически выгодным. Срок окупаемости такого комплекса 2,7 года. Основной доход получаем за счёт снижение платы за хранение отходов птицефабрики и реализации готовой продукции органоминеральных удобрений.

Экономическая составляющая нашего проекта представлена ниже:

Общие исходные данные по АПК:

Свиная особь – 2000 шт. – 8,5 т/сут.;

Куриная особь – 3000 шт. – 0,219 т/сут.;

КРС – 1000 шт. – 50 т/сут.

Исходя из полученных значений суточного производства продуктов жизнедеятельности получаем 58,719 тонн сырья в сутки.

Стоимость технических характеристик биореактора представлена в таблице 22.

Таблица 22 – Стоимость технического оборудования

Наименование	**Количество, шт**	**Стоимость**
1	*2*	*3*
Установка получения биогаза		
Оборудование и материалы (конструкция биореактора)		
Секция биореактора из стеклопластика с технологическими отверстиями	2	1 885 615,33
Обвязка	1	2 828 422,99
Итог за конструкцию		**6 599 652,99**
Вспомогательное оборудование		
Система подогрева и подачи навоза		
Насос измельчитель	1	125 062,5
Центробежный насос с измельчителем	1	51 000
Резервуар для предварительного подогрева	1	785 673,05
Обвязка	1	288 520,67
Система газораспределения		
Станция очистки H_2S	1	200 000
Влагоотделитель	1	200 000
Мягкий газгольдер	1	3 844 200
Система сбраживания		
Мешалка - миксер	2	200 000
Электрический двигатель с редуктором	2	80 000
Клапана, регуляторы, преобразователи	2	94 000
Регулирующая арматура	2	120 000
Компрессор вакуумный	2	448 000
Итого за вспомогательные оборудования		**6 436 456,22**
Всего		**13 036 109,2**
Установка получения биоудобрения		
Транспортер цепной до 5 м (от 1..5 т/час)	1	395 000

Продолжение таблицы 22

Транспортер шнековый до 6 м (1...4 т/час)	1	320 000
Дисковый сепаратор	1	425 000
Твердотопливный теплогенератор "Дракон"	1	900 000
Система пневмотранспортировки сухого сырья	1	335 000
Агрегат сушки-измельчения АС-4-500	1	1 683 000
Линия сушки измельчения	1	2 990 000
Линия гранулирования	1	8 900 000
Бункер муки	1	385 000
Матрица	1	180 000
Охладитель гранул	1	390 000
Вибросортировка	1	330 000
Транспортер ленточный	1	595 000
Нория	1	495 000
Бункер готовой продукции	1	380 000
Пылеотсос	1	90 000
Рубительная машина	1	950 000
Электронные весы	1	50 000
Труба аварийно-растопочная	1	140 000
Труба дымовая	1	210 000
Измельчитель соломы	1	990 000
Всего		**21 133 000**
Всего за 2 модуля установки		**34 169 109,2**

Для начала и поддержания процесса сбраживания достаточно обеспечить следующие условия: поддержку анаэробных условий в реакторе; соблюдение температурного режима; доступность питательных веществ для бактерий; выбор правильного времени сбраживания и своевременную загрузку и выгрузку сырья; соблюдение кислотно-щелочного баланса; соблюдение соотношения содержания углерода и азота; выбор правильной влажности сырья; регулярное перемешивание; отсутствие ингибиторов процесса.

До начала строительства биогазовой установки нужно учитывать условия, необходимые для ее эффективной работы. 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.

Размер реактора зависит от количества, качества и типа сырья, а также от выбранной температуры и времени сбраживания.

Исходя из количества птиц (250 тыс. голов), определяем суточное количество помета (ДП) для переработки в биогазовой установке:

Количество загружаемого сырья (Д) – это сумма отходов хозяйства (ДХ) 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:

$$ОР = ДХ\cdot((В_2 – В_1)/(100 – В_2)), \quad (10)$$

где

ОР - объем реактора;

ДХ - отходы хозяйства;

$$ОС = 2/3\cdot ОР \quad (11)$$

Объем реактора равен:

$$ОР = 1,5\cdot ОС \quad (12)$$

$$ОР = 1,5\cdot 667 = 1000 \text{ м}^3$$

Общая загрузка сырья равна:

$$ОС = 10\cdot Д \quad (13)$$

$$ОС = 10\cdot 66,7 = 667 \text{ т}$$

Объем суточных отходов птицефабрики:

$$ДН = 250000\cdot 0,16 = 40000 \text{ кг} = 40 \text{ т}$$

Необходимое количество воды будет равно:

$$ДВ = 40000\cdot((85-75)/(100-85)) = 26700 \text{ кг} = 26,7 \text{ т},$$

Масса суточной загрузки равна:

$$Д = ДН+ДВ \quad (14)$$

$$Д = 40 + 26,7 = 66,7 \text{ т}$$

Объем суточных экскрементов от 1 курицы составляет 0,16 кг.

Выход биогаза с одной тонны отходов при влажности 85% примерно равен 47 – 94 м^3 биогаза, следовательно выход биогаза с 66,7 т отходов будет равен 3,1 – 6,2 тыс. м^3 биогаза.

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: водонепроницаемость, газонепроницаемость и теплоизоляция.

Система сбора биогаза состоит из распределительного газового трубопровода с запорной арматурой, сборника конденсата, предохранительного клапана, газгольдера и потребителей биогаза (воздухонагреватели, мини-ТЭЦ и др.). Система монтируется только после установки биогазового реактора в рабочее положение.

Размер газгольдера, то есть его объем, зависит от уровня производства и уровня потребления биогаза.

$$ОГ = k \cdot ОР, \quad (15)$$

где

k = 0,2…0,33, принимаем k=0,3, тогда

$$ОГ = 0,3 \cdot 1000 = 300 \text{ м}^3$$

В рассматриваемой биогазовой установке используются наклонные механические перемешивающие устройства. С помощью перемешивания не образовывается корка, что позволяет биогазу легко выходить на поверхность. В зависимости от применения и направления вращения перемешивающее устройство работает на втягивание либо выталкивание субстрата.

Для обеспечения высокого производства биогаза и биоудобрений, а также лучшего обеззараживания сырья используется два метода подогрева: прямой подогрев с помощью смешивающейся с сырьем горячей воды в приемном резервуаре, что дополнительно доводит субстрат до необходимой влажности, и непрямой подогрев через теплообменник, где горячая вода, подогревает сырье, не смешиваясь с ним.

Для отопления реактора выбрана мини-ТЭЦ МЭС-125, производства ООО «Авторемонтный завод «СИНТУР НТ», Нижний Тагил.

Предлагаемые технические характеристики.

Установка включает бункер исходного сырья - 20 $м^3$, реактор - 25 $м^3$, емкость для хранения удобрений - 60 $м^3$, технологические емкости, насосы, газовый котел (мощность 50 кВт).

Производительность по сырью составляет 5 $м^3$ в сутки, по газу - 200 $м^3$ в сутки (72000 $м^3$ в год). Потенциально получаемая энергия - 1,20 Гкал (5.02 ГДж) в сутки или 438 Гкал (1830 ГДж) в год.

Производительность БЭУ по удобрениям - 1825 т/год. (При норме внесения 0.5 т/га этого количества достаточно для обработки 3750 га угодий). Применение высокоэффективных органических удобрений (Патент РФ № 22 48 955) позволяет повысить урожайность на 50-100%, в зависимости от культуры, и практически полностью отказаться от применения химии.

Экономические показатели.

1. Стоимость проекта 13 036 109 руб.
2. Производительность БЭУ:

- По биогазу — 72 000 $м^3$/год;
- По энергии — 438 000 кВт-час/год;
- По удобрениям — 1 825 т/год.

Применение технологии переработки навоза в реакторах биоэнергетических установках сдерживалось определенными обстоятельствами в частности большими капвложениями, когда специалисты

относили данную технологию только к способам получения биогаза. Однако в процессе анаэробной переработки навоза стали получать не только новый энергоноситель, но и экологически чистое органическое биоудобрение по своим свойствам более высокого качества, чем исходная масса. В процессе биологической, термофильной, метангенерирующей обработки органических отходов образуются экологически чистые, жидкие, высокоэффективные органические удобрения. Эти удобрения содержат минерализованный азот в виде солей аммония (наиболее легко усваиваемая форма азота), минерализованные фосфор, калий и другие необходимые для растения биогенные макро- и микроэлементы, биологически активные вещества, витамины, аминокислоты, гуминоподобные соединения, структурирующие почву. Одна тонна таких удобрений по своему эффекту на растение эквивалентна 80-100 т исходного навоза или других органических веществ.

Применение сброженной массы позволяет повысить урожайность полевых культур на 40-100 %. По данным ряда специалистов, если эффективность процесса разделить на энергетическую (от использования биогаза) и экологическую (охрана окружающей среды), то последняя составляет 78 %, а первая 22 %.

Расчёт эколого-экономической эффективности разрабатываемого комплекса и отдельных установок показал, что строительство технологического комплекса (установка для подготовки сырья для реактора, реактор для сбраживания, ферментатор) является экономически и экологически выгодным. Срок окупаемости такого комплекса 2,7 года. Основной доход получаем за счёт снижение платы за хранение отходов животноводства и реализации готовой продукции органоминеральных удобрений. Получение АПК в процессе переработки отходов дополнительных ресурсов – удобрений и биогаза возместит затраты на переработку и позволит получить дополнительную прибыль.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сельское хозяйство в Поволжском регионе продолжает испытывать большие трудности, связанные с низким плодородием земель, растущими ценами на топливо и удобрения, образованием отходов, ухудшающим состоянием окружающей среды. Выходом из замкнутого круга проблем может стать внедрение технологий переработки отходов животноводства с получением энергии и полезных продуктов, в том числе биогазовых технологий.

В результате выполнения диссертационной работы были получены следующие результаты.

Снижение уровня антропогенной нагрузки на окружающую среду от отходов животноводческих комплексов возможно за счет внедрения на животноводческом комплексе технологий получения биогаза и органоминеральных удобрений.

Анализ проблемы обращения с отходами животноводства показал, что отходы – сырой навоз без переработки вывозится и складируется на полях, и тем самым оказывает негативное воздействие на окружающую среду, вызывая отравление почв, загрязняет воздух, подземные воды и является источником инфекционных заболеваний.

Анализ состава отходов животноводства: сырого свиного и КРС навоза, помёта птиц показал, что эти виды отходов является ценным источником органических и минеральных веществ и из них, при соответствующей переработке, можно получить ценные продукты - удобрения и дополнительную энергию - биогаз.

Весьма перспективным является поиск эффективных технологий переработки, которые не только решат проблему загрязнения окружающей среды сырым навозом, но и позволят получить ценный продукт органоминеральное удобрение и дополнительную энергию.

Для решения проблемы снижения антропогенной нагрузки от отходов животноводства (свинокомплекса) были проанализированы существующие технологии и оборудование переработки животноводческих отходов и способы получения из них биогаза и органоминеральных удобрений. Для обеспечения полной утилизации отходов наиболее соответствует способ микробиологического сбраживания навоза, а экологически наиболее эффективным является термофильный режим. Термофильный режим в сочетании с высокопроизводительной микрофлорой позволяет сократить время сбраживания до 5-7 суток, что позволяет уменьшить объем сооружений.

На основе сравнительного анализа существующих методов и технологий разработана и предложена оптимальная технологическая схема получения биогаза и органоминеральных удобрений на животноводческих комплексах.

Для переработки отходов предложен технологический комплекс в который входят 4 модуля:

- **I – Модуль анаэробного сбраживания с получением биогаза;**
- **II – Модуль получения органоминеральных удобрений;**
- **III – Модуль компостирования;**
- **IV – Модуль биодезодорации. Применение ЭМ-технологий.**

Особенностью предлагаемой установки анаэробного сбраживания является то, что мы предлагаем отделить гидролизную установку от биореактора. Вынос гидролизной установки за пределы ферментера – биореактора обусловлено тем, что гидролизные бактерии представляют собой весьма стойкие (живучие) колонии микроорганизмов, которые очень быстро размножаются в питательной среде. Анаэробные (метанобразующие) бактерии размножаются гораздо медленнее. Если гидролизные бактерии получают большое количество питательного вещества, то они вырабатывают такое количество жирных кислот, которое анаэробные бактерии не успевают

переработать. Это приводит к перекислению содержимого ферментера, падению показателя pH и в критической ситуации к срыву всего процесса.

Кроме того мы предлагаем включить в технологический комплекс модуль по получению высококачественных удобрений путём обогащения шлама, полученного в результате процесса метаногенеза с последующим гранулированием удобрений. Анализ литературы показал, что применение таких удобрений обеспечит увеличение урожайности от 20 до 350% по различным культурам.

Новизной работы является развитие идеи по автоматизации процесса предварительной сортировки сырья и выбора технологии переработки отходов (метаногенез или компостирование), разработка подходов научно обоснованного смешивания получаемого продукта с другими органическими составляющими и получения новых модификаций комплексов органоминеральных удобрений. Были предложены дополнительные схемы получения органоминеральных комплексов на основе использования ЭМ-технологий и применение процессов биодезодорации НПВ.

Расчёт эколого-экономической эффективности разрабатываемого комплекса и отдельных установок показал, что строительство технологического комплекса (установка для подготовки сырья для реактора, реактор для сбраживания, ферментёр) является экономически и экологически выгодным. Срок окупаемости такого комплекса 2,7 лет. Основной доход получаем за счёт снижение платы за хранение отходов АПК и реализации готовой продукции органоминеральных удобрений. Получение животноводческим комплексом в процессе переработки отходов дополнительных ресурсов – удобрений и биогаза возместит затраты на переработку и позволит получить дополнительную прибыль.

Таким образом, предлагаемый технологический комплекс позволит снизить антропогенное воздействие отходов АПК на окружающую среду и

получить дополнительные ресурсы, повышающие его экологическую и экономическую эффективность.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. www.biogasworks.com
2. http://www.biogas.vn.ua.
3. http://www.bioresurs.com.ua
4. http://www.ecology-energy.ru
5. http://www.rosbiogas.ru
6. http://www.zerno-ua.com
7. http://www1.fips.ru
8. Абасов, В.С. Годовой отчет на тему: "Изучение влияния метанового эффлюента и сочетания его с другими видами удобрений на урожай и качество сельхоз культур", Кыргызский научно-исследовательский институт земледелия, 2005;
9. Амерханов, Р. А. Проектирование систем теплоснабжения сельского хозяйства: Учебник для студентов вузов агроинженерным специальностям. / Р. А. Амерханов, Б. Х. – Краснодар, 2001. – 200 с.: ил
10. Андреев, В.А., Новиков М.Н., Лунин С.М. Использование навоза свиней на удобрение. – М.: Росагропромиздат, 2002;
11. Архипченко, И. А. Оптимизация процесса компостирования и влияние биокомпостов на урожай / И. А. Архипченко, О. В. Орлова // Агрохимический вестник. – 2001. – № 5. – С. 22-24.
12. Баадер, В. Биогаз: теория и практика / В. Баадер, Е. Дене, М. Бен-нидерфер. – М.: Колос, 2005;
13. Баадер, В.Е. Биогаз, теория и практика, М, Колос, 2000 г.;
14. Баадер, В., Биогаз: теория и практика / В. Баадер, Е. Доне, М. Бреиндерфер. – М.Колос, 1999. – 148 с.
15. Баадер, В., Биогаз: теория и практика / В. Баадер, Е. Доне, М. Бреиндерфер. – М.Колос, 1982. – 148 с.;
16. Березин, И.В. Техническая биоэнергетика / И.В. Березин, Е.С. Панц- хава // Биотехнология. – 2003.;

17. Биогаз-85. Проблемы и решения. Материалы советско-финского симпозиума 4-6 февраля 1985 г., Москва-Хельсинки, 1985 г.
18. Биомасса как источник энергии / пер. с англ./под ред. С. Соуфера, О. Заборски. – М. : Мир, 1985. – 368 с.
19. Биотехнология получения и трансформация топлива. Серия "Биотехнология", том 1, ВИНИТИ АН СССР, 1983 г.;
20. Богданов, П. Обеспечение теплового режима в биогазовой установке. Сб.научных трудов. Эстонский НИИ животноводства и ветеринарии. 2001 г.;
21. Брюханова, Е. С. Исследование влияния влажности сырья на выход и состав продуктов анаэробной переработки отходов птицефабрик // Ползуновский вестник. – 2010. – № 3.
22. Бударин, В.А. Особенности получения биогаза и биологически активного органического вещества из растительных отходов. Институт энергетики и электроники южного отделения Национальной академии наук Кыргызской Республики, г. Жалалабат., 2003 г.;
23. Васильев, В.А., Шершнев, А.А., Резваткина, Т.Г., Андрюхин, Т.Я., Гриднев П.И., Ковалев А.А. Влияние метанового сбраживании бесподстилочного навоза на изменение химического состава и эффективности его как удобрения. Агрохимия, №9, 2002 г.;
24. Веденев, А.Г. Биогазовая установка, ОФ "Флюид" Ассоциация "Фермер", 2005 г.;
25. Веденев, А.Г., Веденева Т.А. Руководство по биогазовым технологиям., 2005 г.;
26. Веденеев, А.Г., Биогазовые технологии в Кыргызской республике / А. Г. Веденеев, Т. А. Веденеева. – Б. : Типография «Евро», 2006. – 90 с. –
27. Геммеке, Бурга, Ригер Криста, Вайланд Петер. Биогаз на основе возобновляемого сырья. Сравнительный анализ шестидесяти одной установки по производству биогаза в Германии, 2001 г.;

28. ГОСТ Р 53790-2010 Нетрадиционные технологии. Энергетика биоотходов. Общие технические требования к биогазовым установкам.
29. Гусев, М.В. Микробиология / М.В. Гусев, Л.А. Минеева. – М: Изд- во Моск. ун-та, 2004 г.;
30. Дубровский, В, Виестур У. Метановое сбраживание сельскохозяйственных отходов. Рига, – 1988.
31. Дубровский, В.И. Метановое сбраживание сельскохозяйственных отходов, Рига "Зинатне", 1988 г.;
32. Дубровский, В.С. Метановое сбраживание сельскохозяйственных отходов / В.С. Дубровский, У.Э. Виестур. Рига : Зинатне, 1988. - 204 с.
33. Евтушенков, А.Н., Фомичев, Ю.К. Введение в биотехнологию: Курс лекций:/ А.Н. Евтушенков, Ю.К. Фомичев. - Мн.: БГУ, 2002. - 105 с
34. Закон о введении нового регулирования права, применяемого видам энергии в области электроэнергии от 21 июля 2004 г.
35. Закон о введении нового регулирования права, применяемого к возобнавляемым видам энергии в области электроэнергии и об изменении связанных с ним предписаний от 25 октября 2008 г.
36. Закон Самарской области от 06.04.2009 № 46-ГД "Об охране окружающей среды и природопользовании в Самарской области.
37. Итоги учета скота и домашней птицы по категориям хозяйств, в разрезе областей, районов и городов Кыргызской Республики", 2005, Нацональный статистический комитет КР.
38. Калмыкова, Ю. А. Проект Биогаз / Карагандинский экологический музей, 2005 г.;
39. Ковалев, А.А. Завышение энергетической способности биогазовых установок, 2007 г.;
40. Ковалев, А.А. Повышение энергетической эффективности биогазовых установок, 2001 г.;

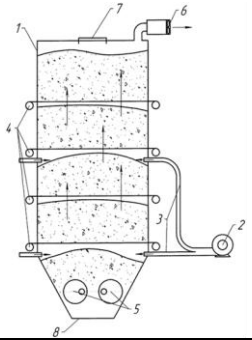
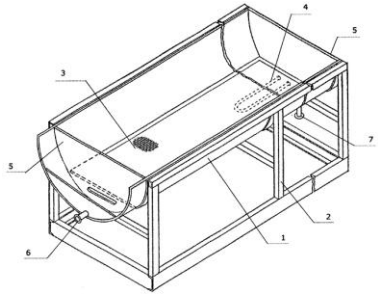
41. Ковалев, А.А. Энергия биомассы животноводческих ферм и комплексов. Итоги работы АПК России, Калуга, 1994 г.
42. Кожуринчев, А.М. Сжигание биогаза метантенков в котельных. Жилищное хозяйство, 1991 г.;
43. Корнев, В. В. Биогазовая энергоустановка с оптимальными параметрами / В. В. Корнев // Газпромрегионгаз. – 2006 г.;
44. Корнева, Н. Влияние экологических факторов на эффективность производства / Н. Корнева // Птицеводство. – 2009 г.;
45. Корнева, Н. Влияние экологических факторов на эффективность производства / Н. Корнева // Птицеводство. – 2009 г.;
46. Кузнецов, А. Е. Научные основы экобиотехнологии : учеб. пособие для студентов / А.Е. Кузнецов, Н.Б. Градова – М. : Мир, 2006 г.;
47. Малофеев, В.М. Биотехнология и охрана окружающей среды: Учебное пособие. – М.: Издательство Арктос, 1998. – 188 с
48. Малофеев, В.М. Биотехнология и охрана окружающей среды: Учебное пособие. – М.: Издательство Арктос, 1998. – 188 с.
49. Медведева, С. А. Биодеградация гидролизного лигнина микробной ассоциацией / С. А. Медведева, Е. Л. Имранова, И. В. Волчатова, Тен Хак Мун // Сибирский экологический журнал. – 2004 г.;
50. Муругов, В.П. Экономика автономных энергосистем в сельском хозяйстве с использованием возобновляемых источников энергии, 2002 г.;
51. Мухамедов, Р.С., Тохтахунов, К.А., Захидов Р.А. Биогазовые установки и охрана окружающей среды. Судостроительная промышленность, Сер. Пром. Энерг. Охрана окружающей среды. Энергоснабж. Судов, 1990 г.;
52. Некрасов, В. Н. Микробиологическая анаэробная конверсия биомассы, 2001 г.;
53. Ножевникова, А.Н. Мусорные залежи «метановые бомбы» планеты / А.Н. Ножевникова // Природа. - 1995 г.;

54. Руководство по эксплуатации. ОФ "Флюид", "Биоэнергетические модули для анаэробного сбраживания навоза типа БЭМС с реакторами объемом 5,0; 25,0; 50,0; 100,0 м^3", 2004 г.;
55. Панцхава, Е.С. Биогазовые технологии – радикальное решение проблем экологии, энергетики и агрохимии / Е.С. Панцхава // Теплоэнергетика. – 2001 г.;
56. Панцхава, Е.С. Использование энергии биомассы в России: Проблемы и перспективы / Е.С. Панцхава, Н.Л. Кошкин // Возобновляемые источники энергии и их роль в энергетической политике России и Германии: тез. докл. герм.-рос. конф. – Фрайбург, 1994 г.;.
57. Рециркуляционное анаэробное сбраживание отходов сельского хозяйства с выработкой биогаза / Т.Я. Андрюхин [и др.] // Биотехнология. – 1989 г.;
58. Родина, Е.М. Отчет в области оценки мер по сокращению парниковых газов из бытовых и сельскохозяйственных отходов, 2003 г.;
59. Сухамера, С. А - ЭМ-технология –биотехнология XXI века;
60. Специальное агентство возобновляемых ресурсов (изд.) Пособие по производству использованию биогаза. Издание 4 (2009).
61. Справочник «Вредные вещества в промышленности». Л., Химия. В 3 томах, 2006г.;
62. Стребков, Д.С., Ковалев А.А. Биогазовые установки для обработки отходов животноводства. // Техника и оборудование для села – 2006. - №11. – С.28-30
63. Тен Хак Мун Влияние компостной закваски на ускорение компостирования органических веществ / Тен Хак Мун, Чень Вань Хен, Е. Л. Имранова, О. А. Кириенко, Г. Н. Ганин // Агрохимия. – 2004. – № 2. – С. 1-4
64. Тищенко, Н.Ф. Охрана атмосферного воздуха. Справочник, М.. Химия. 2003г.;

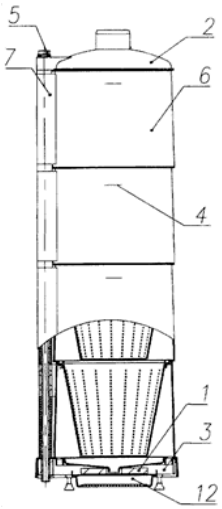
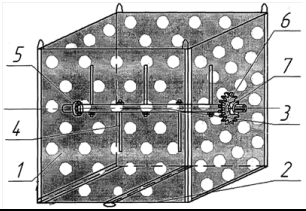
65. Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Результаты программы измерения параметров производства биогаза 2005 г.;
66. Форстер К., Вейз А. Экологическая биотехнология. Л.: Химия. 1990 г.;
67. Чернов, Г.В. Антропогенная эпоха мусора. – 2008. №48, – с. 14-15
68. Щербо, А. С. К вопросу об использовании биогаза в качестве источника энергии / А. С. Щербо // Сборник трудов молодых ученых первого международного экологического конгресса (третьей международной научно-технической конференции) «Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транстпортных комплексов ELPIT 2007», 20-23 сентября 2007 г. – Тольятти, 2007. – Т. II. – 433 с/
69. Эдер, Б., Биогазовые установки. Практическое пособие. Основы планирования. Строительство. Типы установок. Экономическая обоснованность. / Б. Эдер, Ш. Хайнц. – 2006, – 218 с
70.. Форстера К. Ф,. Вейза, А. А. Дж Экологическая биотехнология / под ред.. – Л. : Химия. Ленингр. отд-ние, 2003. – 397 с

ПРИЛОЖЕНИЕ А

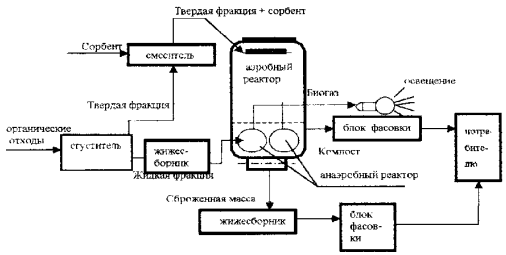
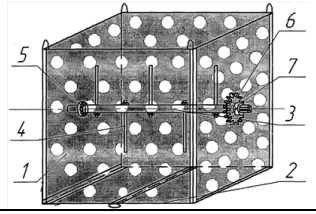
Таблица А – Патентный поиск методов компостирования и вермикомпостирования

Название изобретения	Сущность технического решения, технический результат (Формула)	Достоинства	Недостатки
УСТАНОВКА ДЛЯ КОМПОСТИРОВАНИЯ 	Установка для компостирования содержит устройство выгрузки, источник подачи воздуха и воздуховод, отличается тем, что устройство выгрузки выполнено в виде параллельно расположенных и вращающихся навстречу друг другу валов, снабженных сводоразрушающими элементами, в виде эксцентрично установленных дисковых фрез. Установка отличается тем, что содержит как минимум одно устройство снижения уплотнения компостируемой массы в виде валов с тросами и режущими элементами	Наличие биофильтра в верхней части установки полностью исключает загрязнение атмосферы вредными газами и болезнетворными микроорганизмами.	Большие энергозатраты на работу приводов, валов и датчик.
УСТРОЙСТВО И СПОСОБ КОМПОСТИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕРМИКУЛЬТУРЫ 	Изобретение может использоваться для утилизации отходов, образующихся в результате жизнедеятельности людей и животных. Устройство для компостирования с использованием вермикультуры содержит корпус, расположенный горизонтально перфорированный элемент для размещения перерабатываемых отходов и вермикультуры и средство для размещения воды. Корпус выполнен в виде цилиндрического сегмента, перфорированный элемент расположен на расстоянии 50-75% радиуса цилиндрического сегмента от его оси. Средство для размещения воды представляет собой расположенную под перфорированным элементом часть цилиндрического сегмента. Устройство снабжено рамой, а корпус установлен на раме с возможностью его подъема на угол до 45°, снабжен в торцах заслонками для выгрузки из него содержимого и патрубками для ввода и вывода воды.	Использование вермикультуры способствуя снижению токсичность конечного продукта.	Сложность процессов увлажнения и аэрации в устройстве. Длительность процесса компостирования 1-3 месяца

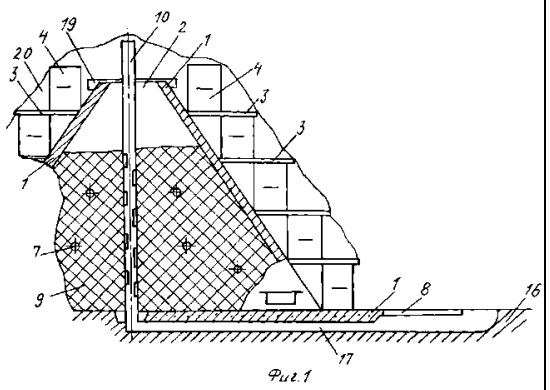
Продолжение таблицы А

Название изобретения	Сущность технического решения, технический результат (Формула)	Достоинства	Недостатки
УСТРОЙСТВО ДЛЯ РАЗВЕДЕНИЯ ДОЖДЕВЫХ ЧЕРВЕЙ И ПОЛУЧЕНИЯ БИОГУМУСА 	Устройство для разведения дождевых червей и получения биогумуса, включающее контейнер, отличающееся тем, что контейнер состоит из установленных на основании друг над другом четырех приемников (6) по форме в виде полого усеченного конуса, по окружности верхнего меньшего основания каждого приемника (6) выполнен порог (8) для опирания на него нижнего большего основания верхнего приемника (6), внутри каждого приемника расположена сетчатая емкость (10) в форме усеченного конуса с дном в малом нижнем основании и конденсационными канавками (9) с отверстиями в верхнем основании, сетчатые емкости по окружности верхнего основания имеют борта (11) для крепления на порогах (8) приемников (6), при этом сетчатые емкости (10) и конденсационные канавки (9) имеют от верстия одинаковой конфигурации, приемники (6) закреплены на ограничивающих втулках (7) с возможностью вращения, втулки расположены на штоке (5), жестко соединенном с основанием (3) контейнера, в нижней части контейнера установлен излучающий нагреватель (1) и поддон (12) для сбора избыточной влаги, в верхней части контейнера установлено устройство для удаления биогаза (2), приемники снабжены ручками (4).	Использование вермикультуры способствуя снижению токсичность конечного продукта. Повышенная скорость вермикомпотирования..	Сложность конструктивного оформления устройства
КОНТЕЙНЕР С ВОРОШИТЕЛЕМ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОМПОСТА 	Конструктивно контейнер с ворошителем выполнен в форме куба из перфорированных листов 1 с двухстворчатым днищем 2 и ворошителя, состоящего из горизонтального вала 3 с пальцами 4, установленного в подшипниках 5 и звездочки цепной передачи 6, ограниченной гайкой 7.	Простота конструкции.	Энергозатраты на работу электродвигателя.

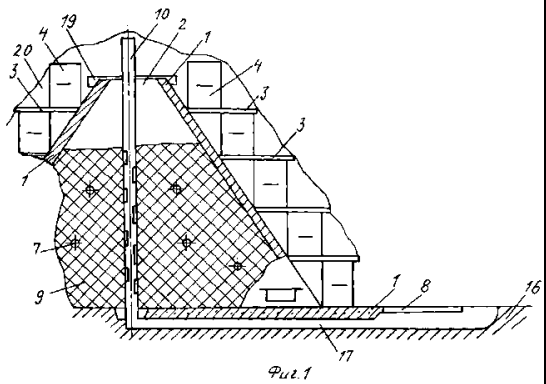
Продолжение таблицы А

Название изобретения	Сущность технического решения, технический результат (Формула)	Достоинства	Недостатки
БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА 	Биоэнергетическая установка для компостирования органических отходов, содержащая биореактор для разложения твердой фракции с теплоизолированным корпусом, внутри которого смонтирована воздухопроницаемая решетка, система подачи и нагрева воздуха, а также механизмы привода подачи исходной массы и выгрузки готового продукта, отличающаяся тем, что она снабжена анаэробным реактором метанового сбраживания жидкой фракции, состоящим из двух полых герметичных цилиндрических емкостей-роторов с крыльями-лопатками, установленных подвижно относительно неподвижных валов, представляющих собой полые цилиндры, разделенные на оси продольной перегородкой, с образованием двух полостей с отводящими патрубками, одна из которых предназначена для жидкой фракции, а другая - для газообразной, при этом воздухопроницаемая решетка выполнена раздвижной, совмещена с системой воздухораспределения и делит корпус реактора на две части, в верхней части под окном загрузки установлено разравнивающее устройство, а в нижней части установлен анаэробный реактор.	Позволяет резко сократить время аэробного процесса компостирования. Универсален для переработки любых видов отходов	Сложность конструктивного оформления устройства. Энергозатраты на работу.
КОНТЕЙНЕР С ВОРОШИТЕЛЕМ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОМПОСТА 	Конструктивно контейнер с ворошителем выполнен в форме куба из перфорированных листов 1 с двухстворчатым днищем 2 и ворошителя, состоящего из горизонтального вала 3 с пальцами 4, установленного в подшипниках 5 и звездочки цепной передачи 6, ограниченной гайкой 7.	Простота конструкции.	Энергозатраты на работу электродвигателя.

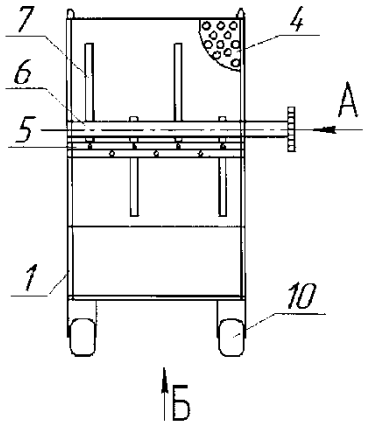
Продолжение таблицы А

Название изобретения	Сущность технического решения, технический результат (Формула)	Достоинства	Недостатки
ПОЛЕВАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА БИОГУМУСА  Фиг.1	Полевая установка для производства биогумуса, содержащая реактор для биотермического компостирования в виде бункера, опорные стенки которого установлены на земле, в котором расположена перфорированная труба, связанная с регулируемой створкой, приводимой от терморегулятора, отличающаяся тем, что бункер выполнен трапециевидной формы сбоку, как минимум, две противоположные опорные стенки которого установлены наклонно и симметрично друг другу под острым углом к земле, с образованием открытого загрузочного окна для субстрата в верхней части, причем внешние поверхности наклонных опорных стенок содержат жесткие несущие направляющие, на которых ярусно расположены лотки для производства биогумуса посредством красных калифорнийских червей вида Esenia foetida, при этом лотки установлены с полным смещением каждого последующего лотка относительно предыдущего в сторону от оси бункера с возможностью их горизонтального перемещения по направляющим и подъема посредством ручек, закрепленных к стенкам лотков, причем бункер содержит внутренние горизонтально расположенные игольчатые рыхлители с возможностью их кругового ручного вращения, на опорных стенках бункера, например торцевых, расположены створки для выемки компоста.	Использование вермикультуры.	Сложность конструкции и эксплуатации.

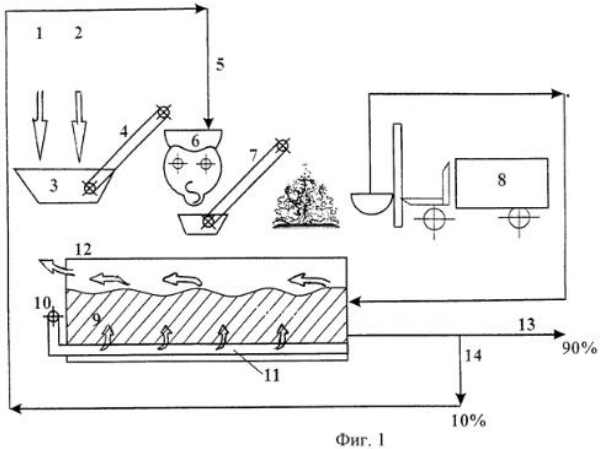
Продолжение таблицы А

Название изобретения	Сущность технического решения, технический результат (Формула)	Достоинства	Недостатки
ПОЛЕВАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА БИОГУМУСА  Фиг.1	Полевая установка для производства биогумуса, содержащая реактор для биотермического компостирования в виде бункера, опорные стенки которого установлены на земле, в котором расположена перфорированная труба, связанная с регулируемой створкой, приводимой от терморегулятора, отличающаяся тем, что бункер выполнен трапециевидной формы сбоку, как минимум, две противоположные опорные стенки которого установлены наклонно и симметрично друг другу под острым углом к земле, с образованием открытого загрузочного окна для субстрата в верхней части, причем внешние поверхности наклонных опорных стенок содержат жесткие несущие направляющие, на которых ярусно расположены лотки для производства биогумуса посредством красных калифорнийских червей вида Esenia foetida, при этом лотки установлены с полным смещением каждого последующего лотка относительно предыдущего в сторону от оси бункера с возможностью их горизонтального перемещения по направляющим и подъема посредством ручек, закрепленных к стенкам лотков, причем бункер содержит внутренние горизонтально расположенные игольчатые рыхлители с возможностью их кругового ручного вращения, на опорных стенках бункера, например торцевых, расположены створки для выемки компоста.	Использование вермикультуры.	Сложность конструкции и эксплуатации.

Продолжение таблицы А

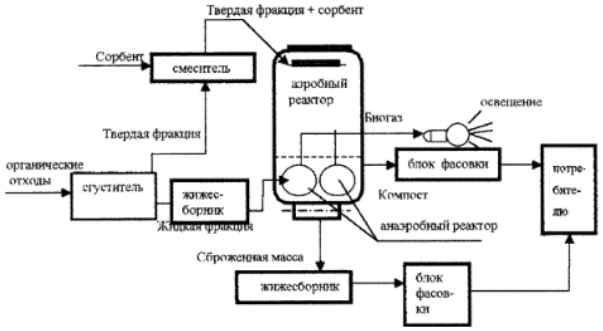
Название изобретения	Сущность технического решения, технический результат (Формула)	Достоинства	Недостатки
УСТАНОВКА С ВОРОШИТЕЛЕМ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОМПОСТА 	Установка предназначена для сбора, хранения, транспортировки и выгрузки растительных материалов при приготовлении компоста. Установка состоит из контейнера, закрепленного на раме; с боковыми стенками, выполненными из перфорированных металлических листов; с закругленным двухстворчатым днищем; дополнительными боковыми створками, закрепленными рояльными петлями со створками днища и боковыми стенками контейнера; с роликами, служащими для перемещения контейнера в горизонтальной плоскости и ворошителем битерного типа, состоящим из горизонтального вала с пальцами. Устройство работает следующим образом. При закрытых боковых створках и закрытых створках днища контейнер заполняют растительным материалом, предназначенным для компостирования. Для равномерного перемешивания растительной массы приводят в действие битерный ворошитель, соединенный с электродвигателем посредством цепной передачи. При работе ворошителя в контейнере с закругленным днищем образование «мертвых зон» не происходит. Порционная выгрузка по мере приготовления компоста производится через дополнительные боковые створки. Выгрузка всего объема готового компоста по истечении срока компостирования может осуществляться через открывающиеся створки днища самотеком.	Простота конструкции	Использование для небольших объемов.

Продолжение таблицы А

Название изобретения	Сущность технического решения, технический результат (Формула)	Достоинства	Недостатки
УСТАНОВКА ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОМПОСТА  Фиг. 1	Способ включает перемешивание органических отходов с измельченным влагопоглощающим органическим материалом с внесением инокулирующей добавки, подачу полученной смеси в ферментер и ее аэробное компостирование . В качестве органических отходов используют помет, а в качестве инокулирующей добавки - микробную композицию, включающую целлюлозоразрушающие азотфиксирующие и стимулирующие рост растений микроорганизмы. 10% готового биокомпоста используют в качестве инокулирующей добавки при приготовлении новой партии биокомпоста. Способ позволяет получить биокомпост, способствующий повышению урожайности сельскохозяйственных культур и активно участвующий в почвообразующих процессахкомпостирования может осуществляться через открывающиеся створки днища самотеком.	Простота конструкции	Использование для небольших объемов.

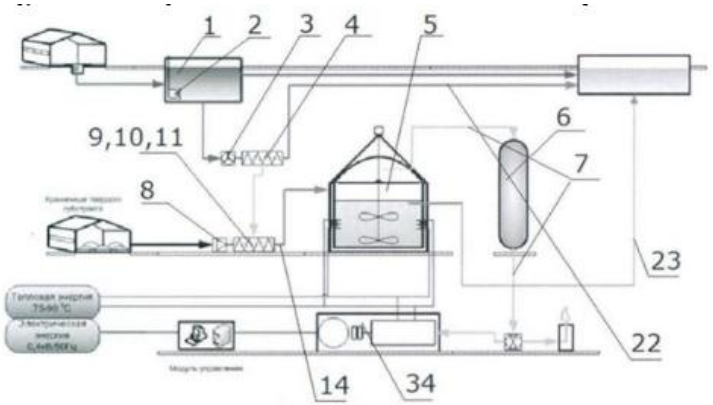
ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица Б – Патентный поиск установок для получения биогаза

Название изобретения	Сущность технического решения, технический результат (Формула)	Достоинства	Недостатки
УСТАНОВКА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОГАЗА 	Биоэнергетическая установка для компостирования органических отходов, содержащая биореактор для разложения твердой фракции с теплоизолированным корпусом, внутри которого смонтирована воздухопроницаемая решетка, система подачи и нагрева воздуха, а также механизмы привода подачи исходной массы и выгрузки готового продукта, отличающаяся тем, что она снабжена анаэробным реактором метанового сбраживания жидкой фракции, состоящим из двух полых герметичных цилиндрических емкостей-роторов с крыльями-лопатками, установленных подвижно относительно неподвижных валов, представляющих собой полые цилиндры, разделенные на оси продольной перегородкой, с образованием двух полостей с отводящими патрубками, одна из которых предназначена для жидкой фракции, а другая - для газообразной, при этом воздухопроницаемая решетка выполнена раздвижной, совмещена с системой воздухораспределения и делит корпус реактора на две части, в верхней части под окном загрузки установлено разравнивающее устройство, а в	Средство разравнивания компостируемой массы выполнено в виде цепного транспортера, планки которого снабжены отклоняющимися пальцами.	Использование для небольших объемов.

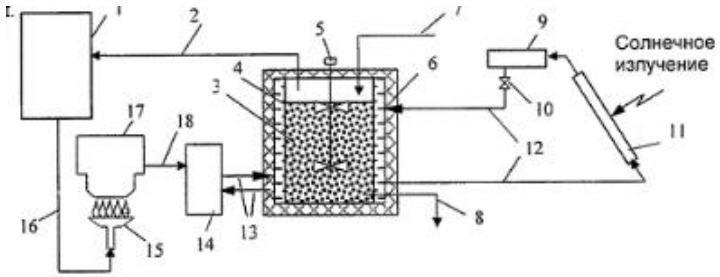
	нижней части установлен анаэробный реактор.		

Продолжение таблицы Б

Название изобретения	Сущность технического решения, технический результат (Формула)	Достоинства	Недостатки
УСТАНОВКА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОГАЗА  Фиг.1	Способ производства биогаза из сельскохозяйственных отходов включает предварительную гомогенизацию отходов, последующую сепарацию отходов на компоненты, подачу биологически разлагаемых компонентов отходов в резервуар производства биогаза и последующее раздельное или совместное использование компонентов и биогаза . Предварительная гомогенизация отходов производится периодически в закрытом объеме с подачей равными порциями на сепарацию, в процессе сепарации отходов на компоненты часть жидкой фракции отводят самотеком для самостоятельного использования, а перед подачей биологически разлагаемых компонентов отходов в резервуар производства биогаза в их состав добавляют твердое органическое вещество и образуют из них ферментную массу. Массу подают в резервуар производства биогаза . Перед сепарацией порцию отходов разделяют на две неравные части, большую из которых направляют на сепарацию, а меньшую напрямую в резервуар производства биогаза. Изобретение позволяет и характеристик исходного сырья с одновременным обеспечением надежности работы резервуара производства биогаза в условиях значительного	Повысить производительность биогазового комплекса и равномерность режима его работы в условиях значительного изменения климатических условий	Использование для небольших объемов.

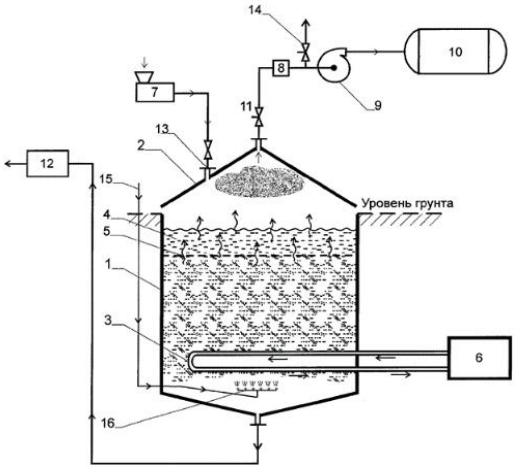
	понижения температуры окружающей среды.		

Продолжение таблицы Б

Название изобретения	Сущность технического решения, технический результат (Формула)	Достоинства	Недостатки
УСТАНОВКА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОГАЗА  **Фиг. 1**	Изобретение относится к сельскому хозяйству , а именно к установкам для переработки органических отходов сельскохозяйственного производства в анаэробных условиях, и может быть использовано для производства биогаза . Биоэнергетическая установка содержит метантенк с водяной рубашкой, теплоизоляцией, мешалкой, загрузочным и выгрузочным патрубками, трубопроводы подачи биогаза и газгольдер. Установка снабжена гелиоколлектором, электроводонагревателем и двигателем Стирлинга в виде термомеханического генератора с расположенной со стороны днища двигателя биогазовой горелкой, которая соединена с трубопроводом для подачи биогаза из газгольдера. В двигателе Стирлинга тепловая энергия сжигаемого в биогазовой горелке биогаза преобразовывается в электрическую энергию и используется для обогрева сбраживаемой в метантенке биомассы до необходимой температуры и обеспечения непрерывной работы системы в периоды	Изобретение обеспечивает автономное энергоснабжение локальных потребителей в сельской местности с комбинированным использованием энергии солнечного излучения и энергии биомассы	Использование для небольших объемов.

	отсутствия поступления солнечного излучения..		

Продолжение таблицы Б

Название изобретения	**Сущность технического решения, технический результат (Формула)**	**Достоинства**	**Недостатки**
УСТАНОВКА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОГАЗА 	Установка содержит заглубленную в землю герметичную емкость для анаэробного сбраживания исходного сырья, узел его загрузки с измельчителем, крышку, систему обогрева, сетку для удержания вспененной массы и предотвращения образования "корки", систему отвода биогаза с фильтром, компрессор, клапан для вывода углекислого газа, узел ввода катализатора, емкость для приема и хранения биогаза и узел выгрузки полученного удобрения.	Установка обеспечивает высокую эффективность получения экологически чистых обеззараженных органических удобрений и позволяет ликвидировать антисанитарное воздействие на окружающую среду близлежащих жилых массивов.	Использование для небольших объемов.