

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Химическая технология и ресурсосбережение»

(наименование)

18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии,
нефтехимии и биотехнологии

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Рациональное природопользование, рециклинг и утилизация отходов

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Разработка технических решений при производстве удобрений из отходов
древесины, обрезки кустарника, сельскохозяйственных и пищевых отходов

Студент

Е.В. Андрейцова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Д.А. Мельникова

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2021

Аннотация

Тема выпускной квалификационной работы – «Разработка технических решений при производстве удобрений из отходов древесины, обрезки кустарника, сельскохозяйственных и пищевых отходов». Целью работы анализ и разработка технического решения при производстве удобрений из отходов древесины, обрезки кустарников, сельскохозяйственных и пищевых отходов.

Выпускная квалификационная работа состоит из пояснительной записки на 72 страницах, включающей 10 рисунков, 7 таблиц и 57 источников литературы.

После анализа технической литературы в качестве наиболее перспективного решения была выбрана технология компостирования органических отходов.

С помощью патентного поиска были проанализированы различные варианты составов компостируемой биомассы.

В ходе анализа компонентного состава отходов были подобраны отходы (пищевые отходы кухонь и организаций общественного питания несортированные, навоз крупного рогатого скота свежий, растительные отходы при уходе за древесно-кустарниковыми посадками) для получения качественного органического удобрения, удовлетворяют требованиям ГОСТа. При совместном компостировании органических отходов, отходов животноводства (навоз), а также отходов древесно-растительных отходов возможно добиться оптимального соотношения углерода к азоту (C:N). Также навоз содержит множество питательных веществ, компостирование с внесением дополнительных веществ, таких как опилки и пищевые отходы позволит получить высокоэффективное органоминеральное удобрение.

Рассчитан материальный и тепловой балансы, результаты которых указывают на эффективность предлагаемой технологии в области обращения с отходами.

Abstract

The topic of the final qualifying work is «Development of technical solutions for the production of fertilizers from wood waste, shrub trimmings, agricultural and food waste». The purpose of the work is to analyze and develop a technical solution for the production of fertilizers from wood waste, shrub trimmings, agricultural and food waste.

The final qualifying work consists of an explanatory note on 72 pages, including 10 figures, 7 tables and 57 sources of literature.

After analyzing the technical literature, organic waste composting technology was chosen as the most promising solution.

Various formulations of compostable biomass have been analyzed using a patent search.

In the course of analyzing the component composition of the waste, wastes were selected (food waste from kitchens and public catering organizations, unsorted, fresh cattle manure, plant waste when caring for tree and shrub plantations) to obtain high-quality organic fertilizer, meet the requirements of GOST. With the joint composting of organic waste, animal waste (manure), and wood-plant waste, it is possible to achieve an optimal carbon to nitrogen ratio (C: N). Also, manure contains many nutrients, composting with the introduction of additional substances such as sawdust and food waste will provide a highly effective organic fertilizer.

The material and heat balances were also calculated, the results of which indicate the effectiveness of the proposed technology in the field of waste management.

Содержание

| | |
|---|--|
| Перечень сокращений и обозначений..... | 5 |
| Введение..... | 6 |
| 1 Теоретический анализ технологий получения удобрений из отходов пищевой, деревоперерабатывающей и сельскохозяйственной промышленности..... | 8 |
| 1.1 Литературный обзор..... | 8 |
| 1.2 Зарубежный опыт компостирования пищевых и сельскохозяйственных отходов..... | 11 |
| 1.3 Патентный поиск..... | 13 |
| 1.4 Технология компостирования..... | 20 |
| 1.5 Анализ возможного использования полученного удобрения..... | 37 |
| 2 Разработка технологии получения удобрения из отходов древесины, обрези кустарника, сельскохозяйственных и пищевых отходов..... | 46 |
| 2.1 Описание предлагаемой технологии..... | 46 |
| 2.2 Материальный баланс..... | 52 |
| 2.3 Тепловой баланс процесса компостирования..... | 60 |
| Заключение..... | 65 |
| Список используемой литературы и используемых источников | Ошибка! Закладка не определена. |
| Приложение А Требования к показателям компоста (удобрения) в соответствии с ГОСТ 55571-2013..... | 74 |
| Приложение Б Постоянные величины разных источников..... | 78 |

Перечень сокращений и обозначений

ТКО – твердый коммунальный отход

ТМ – тяжелый металл

RDF – топливо на основе мусора

БПК – биологическое потребление кислорода

ХПК – химическое потребление кислорода

FAS – свободное воздушное пространство

ДРО – древесно-растительные остатки

ПАУ – полиароматические углеводороды

ЛОС – летучие органические соединения

ФККО – федеральный классификационный каталог отходов

Введение

Утилизация отходов растительного и животного происхождения является актуальной в связи с ростом их образования. Современные подходы к решению вопросов утилизации отходов, относящихся (или приравненных к ТКО (твердым коммунальным отходам) предусматривают эффективную их переработку на площадках экотехнопарков. Поэтому отходы растительного и животного происхождения рассматривают для утилизации как приоритетные. Это определено и в нормативно-правовой базе природоохранного законодательства, есть перечень отходов, к которым применяется особый контроль за деятельностью и запрещено размещать их на полигонах, часть отходов, относящихся к растительным и животным.

Большое количество органических веществ, которые после соответствующей обработки, могут быть успешно использованы в сельскохозяйственном производстве, содержат древесные отходы, обрезки кустарников, сельскохозяйственных и пищевых отходов. Исследования, проведенные в нашей стране и за рубежом, показывают, что кора дерева, опилки, щепа и обрезки кустарников могут использоваться для мульчирования и удобрения почвы, кора компоста, подготовки искусственной почвы для теплиц, доступной замены торфа, в качестве подстилки на птицефабриках и птицефабриках с последующим ее использовать в качестве удобрения. Не менее ценным органическим удобрением является лигнин. Гидролитический лигнин представляет собой твердый остаток, образующийся после обработки древесины серной кислотой. Эффективными методами обработки и сельскохозяйственных отходов служат сбраживание, компостирование и сжигание. Отходы содержат большое количество органических компонентов, таких как углеводы, белки, липиды и органические кислоты, что делает их потенциальным источником энергии для роста и развития сельскохозяйственных культур. Поэтому переработка и вторичное использование вышеупомянутых отходов позволит решать и экологическую

проблему – из категории загрязнителей окружающей среды они перейдут в разряд почвенных мелиорантов.

Целью работы повышение эффективности использования отходов древесины, обрезки кустарников, сельскохозяйственных и пищевых отходов.

А связи с поставленной целью необходимо решить следующие задачи:

– проанализировать существующие технические решения при производстве удобрений из отходов древесины, обрезки кустарников, сельскохозяйственных и пищевых отходов и предложить собственные;

– обосновать техническое решение для производства удобрений из отходов древесины, обрезки кустарников, сельскохозяйственных и пищевых отходов и провести оценку его эффективности;

– провести расчет материального и теплового балансов предложенного технического решения.

Для решения задач выпускной квалификационной работы были использованы следующие методы исследования: теоретические – анализ источников и литературы в области рассматриваемой темы, эмпирические – наблюдение.

Объект исследования – производство удобрений в результате переработки древесных отходов, обрезки кустов, сельскохозяйственных и пищевых отходов.

Предмет – разработка технического решения при производстве удобрений из древесных отходов, обрезки кустов, сельскохозяйственных и пищевых отходов.

Работа состоит из введения, двух глав, заключения и списка использованных источников.

1 Теоретический анализ технологий получения удобрений из отходов пищевой, деревоперерабатывающей и сельскохозяйственной промышленности

1.1 Литературный обзор

Быстрый рост населения мира в последние годы, сопровождающийся интенсификация человеческой деятельности привела к серьезным экологическим проблемам, таким как загрязнение почвы, воды и воздуха, уничтожение лесов и т. д. В будущем эти негативные воздействия могут вызвать глобальные климатические изменения (парниковый эффект) и могут быть угрозой существованию человечества. Немедленные меры во избежание необходимо негативное влияние деятельности человека. Многие производственные процессы приводят к большому количеству отходов. Пищевая и сельскохозяйственная промышленность входят в число древнейшая из человеческих практик, но как источник отходов не составляет исключения от другой промышленной деятельности. В ближайшее время управление питанием и сельскохозяйственные отходы будут играть важную роль в сохранении природных ресурсы во многих странах.

«Содержание органической части в ТКО составляет около 30 %, но в летний сезон возрастает до 37 %, что связано с сезонным снижением цен на растительную продукцию, выращиванием овощей, ягод и фруктов на приусадебных участках, садах и т.д.» [27].

Актуальность компостирования органической части ТКО возрастает с принятием поправок к федеральному закону «Об отходах производства и потребления» (ред. от 26.12.2017 г.). Закон декларирует «разрешение» отдельного сбора мусора по всей Российской Федерации, однако в реальности он и так частично действует в ряде городов по всей России (Москва, Санкт-Петербург, Саранск). При этом никаких мер стимулирования организации отдельного сбора мусора с последующей переработкой отходов в законе нет [11].

«В России отдельный сбор и использование органических отходов в качестве сырья для производства биогаза или компоста практически отсутствуют. Предложенные на информационном рынке инновационные проекты по утилизации пищевых отходов в целом идентичны и пока не нашли широкого внедрения» [28]. «Кроме того, компосты из пищевых и других органических отходов могут содержать осколки стекла и мелкие металлические отходы; пищевые отходы не очень подходят для установок по сжиганию отходов, так как они являются слишком влажными для нормального горения и требуют подсушивания перед сжиганием.

Единой общепринятой классификации органических отходов не существует, но можно условно разделить их по отдельным видам. На рисунке 1 представлена общепринятая классификация органических отходов» [6].



Рисунок 1 – Классификация органических веществ

Известно, что компост - это органическое удобрение, полученное в результате разложения органических отходов растительного или животного происхождения [4].

Целью компостирования является эффективное преобразование органических составляющих в устойчивые и доступные для растений формы [8]. На рисунке 2 представлена принципиальная схема переработки органических отходов в компост.



Рисунок 2 – Принципиальная схема переработки органических отходов в КОМПОСТ

«Главные параметры процесса, которые нужно контролировать, чтобы получить качественный компост, следующие [9]: влажность 40–60 %; температура – 32 – 60 °С; соотношение С : N – 30 : 1; кислород - для окисления 1 г материала требуется 1,5 (высоко окислённых отходов) – 4 (насыщенные углеводороды) г кислорода, что достигается при скорости аэрации 6-19 мг O₂/ч; активность микроорганизмов (бактерии, микромицеты, простейшие) и макроорганизмов (высшие грибы, клещи, черви, муравьи и др.)» [2].

При компостировании в атмосферу выделяется меньшее количество «парниковых» газов (прежде всего диоксида углерода), чем при сжигании или захоронении. Процесс компостирования позволяет получить ценный

продукт и одновременно является процессом очистки, делающим отходы менее вредными для окружающей среды.

«Компостирование имеет относительно невысокую популярность по сравнению с другими методами утилизации отходов ввиду таких его недостатков, как длительный производственный цикл и иногда получение продукта нестабильного качества» [14].

1.2 Зарубежный опыт компостирования пищевых и сельскохозяйственных отходов

Учеными Болгарского аграрного университета Стефан Шилеф и Анна Аладжиян были проведены исследования состава и фаз биологического компостирования пищевых и сельскохозяйственных отходов. Ученые сделали выводы, что при разложении органических отходов растительного и животного происхождения в аэробных условиях образуется материал с более короткими молекулярными цепями, более стабильный, гигиеничный, богатый гумусом и, наконец, полезный для сельскохозяйственных культур и для обработки почвы.

По схеме процесс происходит в результате жизнедеятельности различных микроорганизмов в аэробной среде. В качестве микроорганизмов принимаются бактерии, грибы, актиномицеты, водоросли, и простейшие, которые естественным образом входят в органическую биомассу или добавляются искусственно [3]. Процесс можно описать уравнением 1 [49]:



В качестве компостируемых отходов использовались органические отходы (листья, обрезки травы, другой растительный мусор, пищевые отходы, отходы жизнедеятельности животных), а в качестве организмов способных разлагать органические вещества до неорганических консументы

трех уровней (1 уровень – многоножки; 2 уровень – простейшие, колдовратки, почвенные плоские черви; 3 уровень – бактерии, грибы, актиномицеты, нематоды, улитки, слизи, дождевые черви).

Многие предприниматели думают о компосте в первую очередь как об источнике питательных веществ, добавляемых в почву.

Однако вклад в него разнообразного набора микроорганизмов в сочетании с его высоким содержанием органических веществ могут дать еще более значительные преимущества. Использование зрелого готового компоста может привести:

- к увеличению содержания органического вещества в почвах, улучшению дренажа в глинистых почвах и управляемой эрозии почвы;

- улучшению свойств почвы и связанный с этим рост растений; снижается стресс растений от засухи и заморозков, увеличиваются питательные элементы растений, выращенных на почвах, богатых компостом;

- снижению воздействия на окружающую среду за счет уменьшения эрозии почвы, заболачивания, потеря питательных веществ, образования корки на поверхности, эвтрофикации водотоков, заиления водных путей и др.

- увеличению микробиологической популяции почвы;

- удержанию воды в песчаных почвах и снижению потребности в водорастениям;

- привлечению и питанию дождевых червей;

- уравниванию рН почвы (кислотность : щелочность);

- уменьшению отходов;

- замене применения химических удобрений, гербицидов и пестицидов.

Это очень важный аспект для производства качественной сельскохозяйственной продукции [5].

1.3 Патентный поиск

В таблице 1 представлены результаты патентного поиска.

Таблица 1 – Современные патентные исследования

| Номер и название патента | Автор(ы) | Сущность предлагаемого решения | Компонентный состав | Результативность предлагаемого решения |
|---|--|--|---|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| RU 2051136 C1 Способ преобразования биомассы в средство улучшения почвы, удобрение и/или субстрат для роста растений | Мартин Эрих Шмитт (RU) | Сущность изобретения: в способе собранную в бурт и укрытую органическим материалом биомассу подвергают воздействию естественных процессов разложения до достижения желаемой степени преобразования. Для укрытия бурта используют органический материал, измельченный до размера древесных опилок, а покровый слой: формируют толщиной, обеспечивающей полное задержание образующихся в процессе разложения биомассы летучих веществ. | Древесные опилки Растительная масса Влажная солома Навоз | Использование: в сельском хозяйстве, способы преобразования биомассы в средство улучшения почвы, удобрение и/или субстрат для роста растений [46]. |
| RU 2053986 C1 Способ получения органического удобрения из древесной коры хвойных пород | Дунаев В.Ф. (RU) Панасевич Т.Г. (RU) Дунаева В.В. (RU) | Сущность: древесную кору хвойных пород длительного срока (более 5 лет) хранения подвергают аэрации, просеивают на ситах с отверстиями, линейный размер которых не более 3 мм, и отбирают мелкую фракцию в качестве готового органического удобрения. | Кора Птичий помет Опилки | Назначение: удобрение для повышения плодородия почв под сельскохозяйственные и лесные культуры. |

Продолжение таблицы 1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|--|--|--|--|
| SU 1774939 Способ получения органоминерального удобрения | Трунова О.Н. (SU) | Цель - повышение интенсивности компостирования и удобрительной ценности продукта. Путем дополнительного ввода в компост из древесных опилок и каньги мелкодисперсной фракции (1-3 мм) цеолитового туфа улучшаются структура компоста, его аэрация и повышается скорость компостирования. | Опилки Каньга Цеолитовый туф | Благодаря широкому спектру зольных элементов улучшается питательная ценность компоста. |
| RU 2112764 C1 Способ приготовления компоста многоцелевого назначения | Ковалев Н.Г. (RU) Малинин Б.М. (RU) Туманов И.П. (RU) | Изобретением повышает технологичность способа и качество готовой продукции. | Мульчирующий антисептический материал Субстрат для подготовки почвогрунтов Мульча Субстрат для выращивания грибов | Изобретение относится к сельскому хозяйству и может быть использовано при переработке органических отходов, частности навоза. |
| RU 2086522 C1 Способ получения органоминерального удобрения | Мигутин Г.В. (RU) Алкарев В.А. (RU) Минобудинова Н.В. (RU) Сыркин Л.Н. (RU) | Сущность изобретения: способ предусматривает смешивание птичьего помета и/или навоза с наполнителем, формирование смеси в бурт и компостирование при аэрации воздухом. При этом, при формировании бурта часть смеси укладывается в нижний слой на 2/3 его высоты, а оставшуюся часть | Птичий помет Навоз Солома Древесные опилки Цеолит Активированный уголь Известь Фосфоритная мука | Использование: переработка органических отходов на удобрение. Цель изобретения: снижение вредных выбросов в атмосферу и улучшение качества готового продукта [48]. |

Продолжение таблицы 1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|---|---|--|--|
| | | <p>дополнительно смешивают с сорбентом в массовом соотношении 1-2:1-4 и укладывают в верхний слой бурта. При компостировании смеси на стадиях мезофильной, термофильной и охлаждения аэрацию воздухом осуществляют в режиме 9-11 нм³/час, а на стадии созревания 20 нм³/час из расчета на 1 т компостируемой смеси. В качестве сорбента можно использовать цеолит, насыщенный ионами натрия до 40 г/кг цеолита, и/или активированный уголь, бентонит, обожженную известь, фосфоритную муку, суперфосфат, фосфогипс.</p> | | |
| <p>RU 2249583 C2 Способ получения органических удобрений из древесной коры</p> | <p>Туев Н.А. (RU) Трошин Н.Н. (RU) Волков А.Н. (RU) Бровцев А.А. (RU) Ульмасов Ф.С. (RU) Свирин Л.В. (RU)</p> | <p>Изобретение относится к сельскому хозяйству и может быть реализовано на предприятиях целлюлозно-бумажной и деревообрабатывающей промышленности для получения удобрений из отходов окорки древесины. Способ включает измельчение древесной коры, приготовление смеси с минеральными и/или органическими добавками, дальнейшее формирование из смеси бурта с</p> | <p>1 т сухой коры 10-12 кг азота 6-8 кг фосфора 3-5 кг калия 0,05-2 % микроорганизмы</p> | <p>Предлагаемое техническое решение относится к области производства органических удобрений из отходов окорки древесного сырья. Способ может быть использован в сельском хозяйстве и на приусадебных участках.</p> |

Продолжение таблицы 1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|---|---|---|--|
| | | <p>воздушными каналами, аэрацию бурта и разложение смеси до гумуса. Образование в бурте воздушных каналов осуществляют укладкой на его основание стержней параллельно друг другу с дальнейшим периодическим извлечением их наружу на 70 % длины стержней по мере засыпки последующей партией компостной смеси в направлении стержней. Использование изобретения позволяет снизить затраты на стадии формирования бурта и компостирования.</p> | | |
| <p>RU 2318783 C1 Способ получения азотсодержащих органических удобрений на основе лигноуглеводных материалов</p> | <p>Новоженов В.А. (RU) Ефанов М.В. (RU) Сграбилова Л.С.(RU) Галочкин А.И. (RU) Петраков А.Д. (RU)</p> | <p>Изобретение относится к области химической переработки древесины и может быть использовано для получения азотсодержащих удобрений и сорбентов на основе лигноуглеводного сырья. Для осуществления способа лигносодержащее сырье в виде воздушно-сухих опилок обрабатывают водным раствором персульфата аммония при 60°C в условиях кавитационной обработки в роторно-импульсном аппарате с частотой вращения ротора 3000</p> | <p>Опилки Персульфат аммония Водный аммиак Реактив Несслера</p> | <p>Сущность предлагаемого изобретения заключается в том, что лигносодержащее сырье в виде воздушно-сухих опилок обрабатывают водным раствором персульфата аммония при 60 °С в условиях кавитационной обработки в роторно-импульсном аппарате с частотой вращения ротора 3000 об/мин в течение 0,25-1,0 ч при содержании персульфата аммония – 0,2-0,8 г/г сырья и концентрации аммиака в</p> |

Продолжение таблицы 1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|--------------------------------|---|---|---|
| <p>RU 2 556 042 C1 Способ получения органического удобрения из биоразлагаемых отходов</p> | <p>Тертычный В.П. (RU)</p> | <p>Способ получения органического удобрения из биоразлагаемых отходов включает смешивание птичьего помета, навоза сельскохозяйственных животных и биоразлагаемых отходов, укладку бурта высотой 2,4-3 м, шириной 4,5-5 м, произвольной протяженности, его увлажнение, измельчение, заселение субстрата дождевыми червями Eiseniafoetida из расчета 500 особей на 1 м³ смеси при температуре окружающей среды не ниже 0°С, причем в качестве основного компонента субстрата берут обрезь деревьев, кустарников, газонную и сорную траву, кукурузные кочерыжки, пищевые отходы в количестве 75%, а птичий помет и навоз - 25%, трижды увлажняют бурт до влажности 60-70%, предварительно перемешав, сразу после укладки, через полтора месяца и еще через один месяц измельчают молотковой дробилкой и увлажняют в 3-й раз, вносят дождевого червя, бурт не укрывают, осуществляют процесс биохимического разложения компоста.</p> | <p>Обрезь деревьев Пищевые отходы Птичий помет Навоз Дождевые черви</p> | <p>Изобретение позволяет утилизировать отходы, сократить время разложения компоста, получить качественное удобрение под любую сельскохозяйственную культуру [45].</p> |

Продолжение таблицы 1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|-------------------------------|--|--|--|
| <p>RU 2 520 144 C1 Способ получения жидкого гуминового удобрения</p> | <p>Фомичева Н.В. (RU)</p> | <p>Способ получения жидкого удобрения включает перемешивание неоднократно гуминосодержащего материала, являющегося отходом производства жидкофазного биосредства для растениеводства и земледелия, полученного путем проведения процесса ферментации в течение 5 суток торфонавозной смеси при соотношении компонентов 50:50 с добавлением древесной золы в количестве 3 мас. % с последующей экстракцией 1 %-ным раствором калия фосфорнокислого твердофазного продукта ферментации и фильтрованием экстрагированной массы, в результате которого получают осадок, с 1,5-2,0 %-ным водным раствором едкого калия, отстаивание суспензии и отделение и объединение жидкой фракции, причем.</p> | <p>Гуминосодержащий материал калий едкий</p> | <p>Изобретение позволяет получить эффективное жидкое гуминовое удобрение [47].</p> |

Патентным поиском обосновано, что большое количество органических веществ после соответствующей обработки успешно используются в производстве [7].

Исследования, проведенные в нашей стране и за рубежом, показывают, что кора дерева, опилки, щепа и обрезки кустарников могут использоваться для мульчирования и удобрения почвы, кора компоста, подготовки искусственной почвы для теплиц, доступной замены торфа, в качестве подстилки на птицефабриках и птицефабриках с последующим ее использовать в качестве удобрения. Не менее ценным органическим удобрением является лигнин. Гидролитический лигнин представляет собой твердый остаток, образующийся после обработки древесины серной кислотой [53]. Эффективными методами обработки и сельскохозяйственных отходов служат сбраживание, компостирование и сжигание. Отходы содержат большое количество органических компонентов, таких как углеводы, белки, липиды и органические кислоты, что делает их потенциальным источником энергии для роста и развития сельскохозяйственных культур. Поэтому переработка и вторичное использование вышеупомянутых отходов позволит решать и экологическую проблему – из категории загрязнителей окружающей среды они перейдут в разряд почвенных мелиорантов [51].

1.4 Технология компостирования

Сегодня большое внимание уделяется переработке ТКО методом компостирования. Поэтому рассмотрим подробно этапы компостирования древесно-растительных остатков:

- Подготовительный этап:

Возводится площадка для компостирования, которая представляет собой сооружение прямоугольной формы с герметичным, перфорированным бетонным полом, в который встроены аэрируемые каналы и вентилирующие

установки. В каждом бурте проложено по два аэрируемых канала. В случае избыточной влажности бурта площадку оснащают бетонными каналами и подземными емкостями для отвода процессной воды (фильтрата). Линия отвода предотвращает выход газов к резервуарам накопления фильтрата. При недостаточной влажности, устанавливаются емкости для орошения бурта. Накопленный фильтрат вывозится илососными машинами на станцию очистки коммунальных сточных вод или трубопроводом в центральную канализационную сеть. Для того чтобы осуществить и проконтролировать оптимальные условия для компостируемого материала в тело бурта вставляются датчики температуры и давления;

- Прием органической фракции ТКО:

Отходы ТКО поступают на сортировочную станцию, после чего попадают на грохот, где механическим методом разделяются на крупную и мелкую (отсев) фракции. Отсев ТКО разгружают на бетонное основание площадки компостирования;

- Этап №1:

На первом этапе, автопогрузчиком формируются бурты. Загрузка органической фракции в бурт осуществляется ежедневно, что способствует постоянному перемешиванию компостируемой массы. Вентиляция компостируемой массы воздухом под давлением и обезвоживание буртов осуществляется через бетонные каналы в перфорированном полу, в течение четырех недель. На данном этапе наступает активная фаза компостирования (термофильная). Компостируемая масса нагревается, увеличивается температура под покрытием, за счет выделения тепла аэробными микроорганизмами в процессах жизнедеятельности. При микробиологическом ферментировании происходит обеззараживание, обезвреживание и детоксикация компостируемого материала;

- Этап № 2:

На втором этапе происходит перемещение и загрузка компостируемого материала из двух буртов в один, так как после первой фазы объем и масса,

поступивших отходов ТКО, значительно уменьшаются. Предварительно компост охлаждается при помощи интенсивной аэрации воздухом, чтобы уменьшить образование пара во время перемещения компостируемой массы. После чего в бурте, под покрытием, продолжается процесс вызревания «нестабильного» компоста, в течение двух недель. К завершению этого этапа из тела бурта убираются температурные датчики, и при помощи намоточного механизма открывается покрытие;

- Этап № 3:

На этом этапе покрытие отсутствует, в течение двух недель протекает процесс дозревания компостируемой массы с отверждением органического вещества. После образования «стабильного компоста» его перемещают в кавальеры, где он может накапливаться сроком до шести месяцев;

- Этап № 4:

На четвертом этапе, полученный «стабильный», «зрелый» компост снова просеивается через грохот, чтобы отделить оставшиеся балластные включения, такие как: пленка, пластик, мелкий щебень и камни, обломки стекла. После чего отсев отправляется на полигон ТКО для захоронения или обезвреживания, а готовый продукт, после процесса компостирования, – почвогрунт или удобрение отправляются на площадку хранения – кавальеры, где могут храниться до шести месяцев [33].

Технологическая схема биокомпостирования

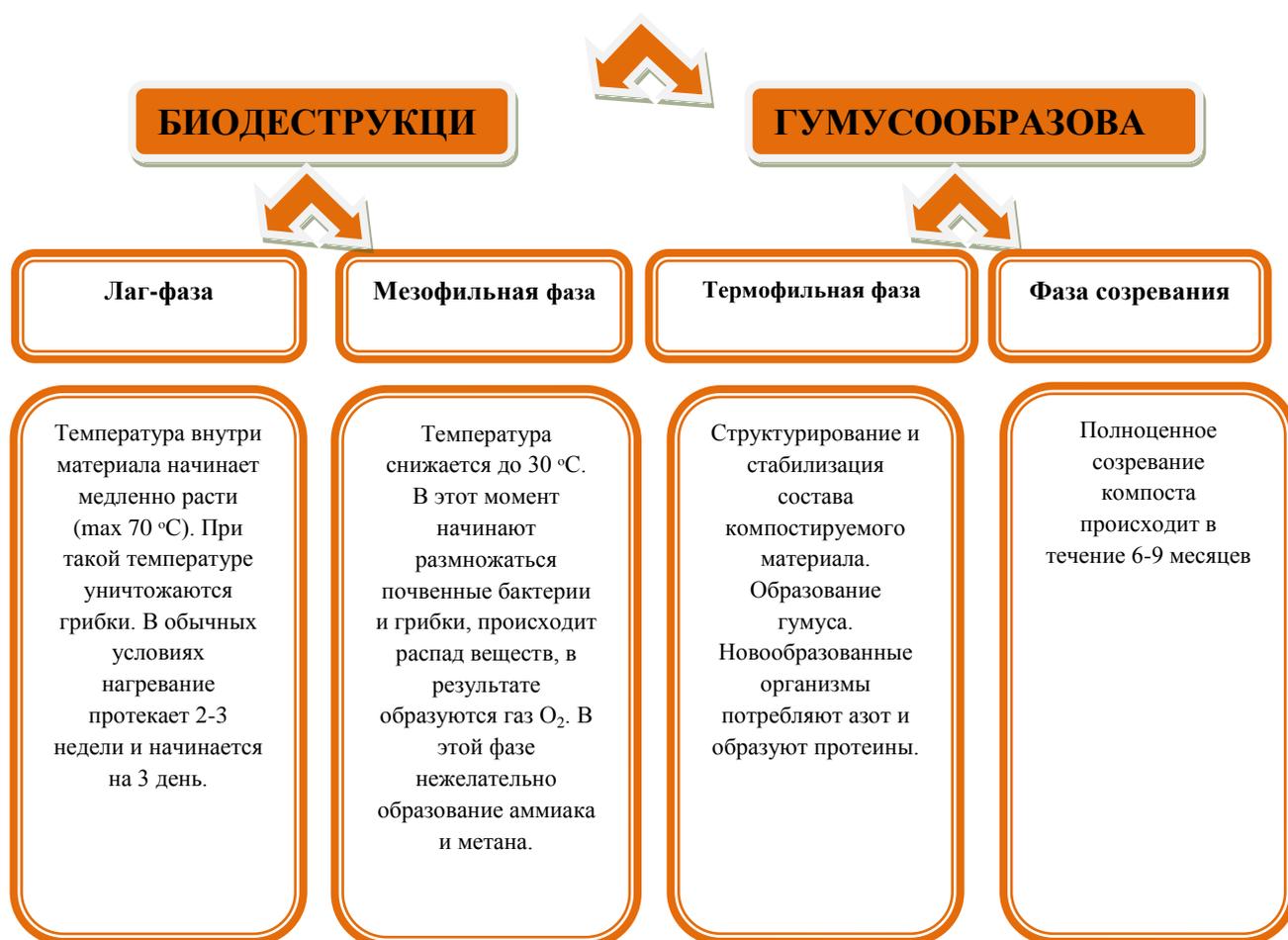


Рисунок 3 – Технологическая схема биокомпостирования

Структура технологического процесса компостирования древесно-растительных остатков (ДРО) приведена на рисунке 4.

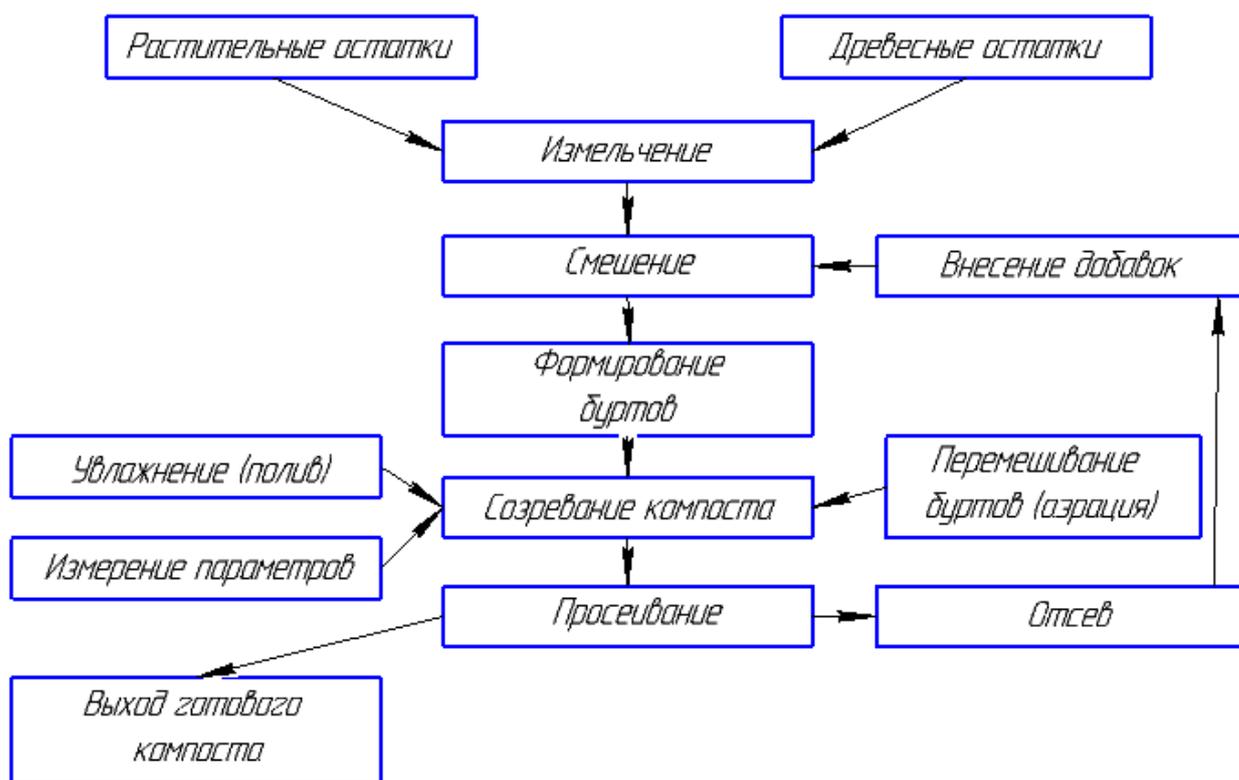


Рисунок 4 – Структура технологического процесса переработки и компостирования

1.4.1 Характеристика отходов

1.4.1.1 Пищевые отходы

Отходы пищевой промышленности – это конечный продукт различных отраслей пищевой промышленности, которые не были переработаны или использованы для других целей. Пищевая промышленность производит большие объемы отходов, как твердых, так и жидких, образующихся при производстве, приготовлении и потреблении пищи. Эти отходы требуют удаления, так как представляют собой потерю ценной биомассы и питательных веществ, а также содержат в себе потенциально серьезные загрязнения. В целом отходы пищевой промышленности имеют следующие характеристики:

- Содержат большое количество органических материалов, таких как белки, углеводы и липиды.
- Имеют различное количество взвешенных твердых частиц в зависимости от источника.

- Имеют высокое биологическое и химическое потребление в кислороде (БПК и ХПК).

Фрукты, овощи, молочные продукты, крупы, хлеб, небеленые бумажные салфетки, фильтры для кофе, яичная скорлупа, мясо и газета можно подвергать компостированию. Пищевые отходы имеют уникальные свойства в качестве агента сырого компоста. Потому что он имеет высокое содержание влаги и низкую физическую структуру.

Наполнители с высоким соотношением C:N, такие как опилки и дворовые отходы, являются хорошим выбором. Их компостирование позволяет избавиться от твердых отходов, воды и могут быть объединены в сельскохозяйственные концерны.

Преимущества компоста для пищевой промышленности:

- Снижает плату за вывоз твердых отходов;
- Уменьшает большое количество перерабатываемых ингредиентов;
- Предполагает только преимущества компостирования пищевых отходов;
- Продвигает технологию как экологически чистое;
- Использование компоста в качестве удобрения;
- Помогает замкнуть цикл пищевых отходов, возвращая их в сельское хозяйство;
- Снижает потребность в дополнительных площадях для свалки [44].

1.4.1.2 Сельскохозяйственные отходы

Во многих странах зерновые являются основным источником сельскохозяйственных отходов. Например, в Болгарии около 60 % пахотных земель (около 4 000 000 га) засеяны зерновыми (такие как хлебные, так и кормовые, а также масличные). Часть растительных остатков используется. Неиспользованные остатки считаются сельскохозяйственными отходами.

Сельскохозяйственные остатки представляют собой значительный ресурс для переработки биомассы в энергию [43].

Животноводство - другая важная часть сельского хозяйства. Промышленные животноводческие комплексы - это искусственная экологическая система. Количество отходов животноводства и особенно жидкого навоза составляют большую часть отходов. Жидкий навоз содержит разные микроорганизмы, опасные как для людей, так и для животных. С другой стороны, навоз обладает высоким энергетическим потенциалом и является значительным источником. Возобновляемая энергия, произведенная за счет навоза в Болгарии за последний год можно оценить в 11,2 миллиона тонн [26].

1.4.2 Фазы компостирования

Как правило, во время компостирования органическое вещество подвергается изменениям, которые можно разделить на две фазы: разложение и созревание.

Первая фаза процесса компостирования начинается с разложения наиболее легко разлагаемых органических веществ (сахаров, органических кислот, аминокислот). Это опосредуется аэробными микроорганизмами с потреблением кислорода и выделением углекислого газа и энергии. Это термофильная фаза, которая протекает с большой скоростью; его продолжительность составляет от нескольких недель до нескольких месяцев, в зависимости от характеристик субстрата. Интенсивная аэрация или смешивание компонентов компостирования является обязательным условием для обеспечения охлаждения субстрата, но также для поддержки поступления кислорода в биомассу. Фитотоксины вырабатываются на этом этапе процесса, который происходит за счет разложения органических веществ. Высокие температуры, pH и влажность являются причинами того, что наиболее активными микроорганизмами на этом этапе являются бактерии. В конце первого этапа получается свежий компост [42].

Когда легко разлагаемые соединения, которые метаболизируются на первой стадии, исчерпываются, процесс компостирования продолжается с более сложными органическими молекулами; поэтому время деградации

больше. Начало этой стадии сопровождается гибелью огромной части микробной популяции из-за недостатка пищи. Кроме того, быстрое снижение температуры сопровождается изменением популяции активных микроорганизмов с термофильных на мезофильные. Верно, что на этом этапе температура достигает 40-45 °С, чтобы понизиться до комнатной температуры. По мнению авторов, этот этап может длиться несколько месяцев.

Во время мезофильной фазы появляются актиномицеты. Они активно разрушают соединения крахмала, целлюлозы и лигнина, необходимые для синтеза компонентов гумуса. Они также играют основную роль в образовании гумуса и производят ароматические соединения, которые придают конечному продукту специфический запах древесной почвы. Стадия созревания характеризуется также распадом материала компоста: образованием мелких частиц множеством беспозвоночных (дождевых червей, клещей и многоножек).

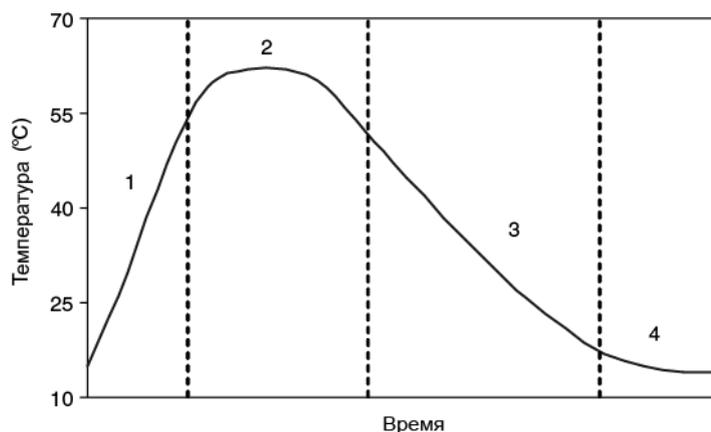
Образование гумуса тесно связано с химическим и биологическим преобразованием отходов животного и растительного происхождения, а также с микробным синтезом. Гумуфикация объясняется окислительной полимеризацией фенольных соединений, полученных в результате катаболизма лигнина, танинов и полифенолов, или новым микробным биосинтезом [55].

1.4.3 Параметры компостирования

1) Температура. Во время компостирования микроорганизмы разрушают органические вещества и производят углекислый газ, воду, тепло и гумус, а также относительно стабильные органические конечные продукты. В оптимальных условиях температура компостирования меняется во время процесса, и можно выделить три фазы, представленные на рисунке 5.

Мезофильная фаза (фаза умеренных температур), продолжительностью пару дней; термофильная фаза (высокотемпературная фаза), длительностью

от 2 дней до нескольких месяцев; и наконец, охлаждение и созревание в течение нескольких месяцев.



1 – мезофильная фаза; 2 – термофильная фаза; 3 – охлаждение;
4 – созревание.

Рисунок 5 – Изменение температуры во время компостирования и фазы микробной активности

На этапах компостирования преобладают различные микробные сообщества.

Первоначальное разложение осуществляется мезофильными микроорганизмами, которые быстро разрушают биоразлагаемые соединения. Тепло, производимое ими вызывает быстрое повышение температуры компоста. Когда температура достигает 40 °С, мезофильные микроорганизмы становятся менее конкурентоспособными и заменяются на теплолюбивые. При температуре выше 55 °С многие патогены человека и растений уничтожаются, семена сорняков и паразитов уничтожаются, когда она достигает 60 °С. Температура не должна превышать 65 °С, потому что многие полезные микробы могут погибнуть, что приведет к снижению скорости разложения. Для этой цели, должны использоваться аэрация и перемешивание для поддержания температуры ниже точки смешивания на рисунке 6.

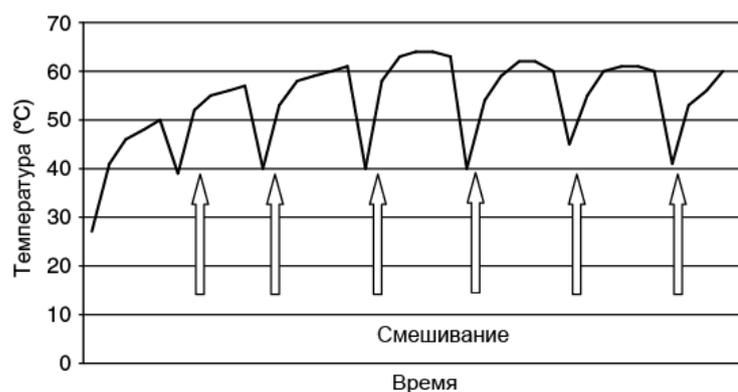


Рисунок 6 – Изменения температуры компоста после смешивания

«Во время термофильной фазы высокие температуры ускоряют разрушение белков, жиров и сложных углеводов, такие как целлюлоза и гемицеллюлоза, основных структурных молекул в растениях. Когда эти соединения исчерпаны, температура компоста постепенно снижается и мезофильные микроорганизмы однократно снова принимают участие в заключительной фазе «отверждения» или созревания оставшихся органических материалов» [55].

Трансформация органического вещества возможна за счет ферментов, которые выступают как катализаторы всех биохимических реакций. Их производят активные микробы и можно разделить на внутриклеточные и внеклеточные ферменты. Внеклеточные ферменты полезны для разложения больших молекул в окружающей среде. Когда огромные молекулы разрушаются вне клетки, мелкие частицы попадают в микробную клетку по различным механизмам и после обработки внутриклеточными ферментами включаются в микробный метаболизм.

2) C : N соотношение. Наиболее важными элементами, необходимыми для микробного разложения, являются углерод и азот. Углерод является источником энергии и строительным материалом, представляющим 50 % биомассы микробных клеток. Азот – важнейший компонент белков, нуклеиновые кислоты, ферменты и коферменты, необходимые для роста и

функционирования клеток. Чтобы установить оптимальные количества этих двух элементов, необходимо учитывать углеродно-соотношение азота (C : N) в каждом ингредиенте компоста. Идеальное соотношение C : N для компостирования обычно считается примерно 30 : 1. Чтобы получить этот оптимальный диапазон соотношения необходимо знать соотношение C : N органических материалов, которые будут использоваться в качестве ингредиентов компоста, и смешать их в необходимом количестве. В таблице 2 представлены отношения C : N некоторых органических материалов.

Таблица 2 – C :N соотношение некоторых органических материалов

| Органический материал | Соотношение C : N |
|---|--------------------------|
| Листья | 34-85 |
| Древесный материал | 80-145 |
| Солома | 50 |
| Опилки | 150 |
| Кора | 110 |
| Бумага | 100 |
| Овощные остатки | 20 |
| Осадок канализации | 6 |
| Органическая фракция твердых коммунальных отходов | 12 |
| Навоз | 5-25 |

Во время компостирования соотношение C : N постепенно уменьшается с 30 : 1 до 10–15 : 1 в конечном продукте, потому что две трети углерода органического соединения, потребляемые микроорганизмами, превращаются в углекислый газ. Остальное вместе с азотом попадает в микробную клетку [29].

Другая проблема, связанная с соотношением C : N – это биодоступность этих элементов. Часть углерода может быть связана в соединениях, обладающих высокой устойчивостью к биологическим воздействиям. Стебли кукурузы и солома, например, медленно разрушаются, потому что они состоят из прочной формы целлюлозы. Хотя эти материалы

могут быть прокомпостированы, они имеют относительно низкую скорость разложения, что означает, что не весь углерод доступен для микроорганизмов.

Другие элементы, такие как фосфор, кальций и сера, также важны для микробной активности компоста. Корреляции между некоторыми из них также была установлена, например, оптимальное значение для C : P известно между 100 и 200, а для C : S составляет 100–300.

3) Влажность. Вода является основополагающим фактором жизнедеятельности активных компостных микроорганизмов, потому что:

- она необходима для обмена питательных веществ через клеточные мембраны;
- она является транспортной средой для внеклеточных ферментов и растворимых подложки.
- это среда, в которой происходят химические реакции.

Оптимальная влажность компоста 50–60 %. Когда он увеличивается выше, чем 65 % могут быть созданы анаэробные условия, а значения ниже 40 % снижают биологическая активность компоста. С другой стороны, компостирование материалов с высокой влажностью (80 %) также возможно за счет добавления веществ с низким содержанием влаги для стабилизации компоста. В таблице 3 приведено содержание влаги в различных органических веществах.

В процессе компостирования влажность снижается естественным образом и достигает опасного уровня биологической активности. Когда это происходит, необходимо добавить воды, чтобы увеличить его.

Таблица 3 – Влажность различных органических веществ

| Органический материал | Влажность, % |
|--|---------------------|
| Органическая фракция твердых бытовых отходов | 70-80 |
| Осадок | 70-80 |

Продолжение таблицы 3

| Органический материал | Влажность, % |
|------------------------------|---------------------|
| Навоз | 75-80 |
| Подстилка для птиц с фермы | 40-60 |
| Можжевельник | 70-75 |
| Солома пшеничная | 15-20 |
| Кукурузные пары | 25-35 |

4) Кислород и рН. Кислород также является важным ингредиентом для успешного компостирования, потому что он с помощью него происходит аэробный процесс. Хотя в атмосфере содержится 21 % кислорода, аэробные микробы могут выжить при концентрациях до 5 %. В этом смысле содержание 10 % кислорода считается оптимальным для компостирования.

С другой стороны, оптимальным для компостных микроорганизмов является рН от 5,5 до 8,5. Когда бактерии и грибы переваривают органические вещества, они выделяют органические вещества и кислоты. По мере снижения рН увеличивается рост грибков с последующим разложением лигнина и целлюлозы. Если система становится анаэробной, накопление кислоты может снизить рН до 4,5, тем самым ограничивая микробную активность. В таких случаях подачи воздуха обычно достаточно, чтобы вернуть рН компоста до приемлемого диапазона.

5) Размер частиц. Общее свободное пространство определяется как отношение между объемом свободного пространства и объемом биомассы, выраженное в процентах. С другой стороны, свободное воздушное пространство (FAS) - это объем, занимаемый воздухом как часть общего свободного пространства [35].

Данные показатели определяются формулами 2 и 3:

$$\text{Общесвободноепространство} = \frac{V_v}{V_t}, \quad (2)$$

$$FAS = \frac{V_v - V_a}{V_t} \quad (3)$$

где V_v – объем свободного пространства,

V_a – объем воды,

V_t – общий объем биомассы.

FAS – очень важный параметр, потому что он влияет на способность компоста удерживать кислород. Фактически, компостирование осуществляется при использовании воды, воздуха и органических материалов, присутствующих в системе. В нормальных условиях величина общего свободного пространства составляет от 35 % до 50 %.

Размер частиц зависит от компостируемого материала, влажности и общего объема компостированной органики. Чем более мелкие и влажные частицы компоста, тем больше компактность компоста. Оптимальный размер частиц 25–75 мм. Когда компостированное органическое вещество имеет меньший размер (листья, трава, экскременты животных, и т. д.) необходимо добавлять большее количество инертных материалов (кора, опилки).

б) Параметры устойчивости. Негативное влияние на биологические процессы разложения органического вещества присутствие ТМ металлов в высоких концентрациях. ТМ приводят к токсичным эффектам, которые приводят к сильному подавлению микробной активности или к гибели нетолерантных штаммов.

С другой стороны, существуют некоторые параметры, позволяющие оценить биологическую устойчивость компостного материала: всхожесть, азотная минерализация, кислородопотребление и гумификация. Термин «биологическая стабильность» описывает разложение органического вещества, при котором процессы созревания компоста задерживаются из-за отсутствия оптимальных условий для роста микробов.

1.4.4 Способы компостирования

Есть много способов компостировать органические материалы. Некоторые из самых популярных были изучены.

1.4.4.1 Холодное (медленное) компостирование

Холодное (медленное) компостирование подходит для обогащенных углеродом, а не азота, отходов, и если нет временных условий, содержания сорняков и семян, а так же патогенности растений. Преимущества холодного компостирования включает простоту реализации и более низкий уровень управления. К недостаткам холодного компостирования можно отнести медленную скорость разложения и способность вредителей вырывать захороненные отходы. Кроме того, если сырье содержит семена сорняков или патогены растений, они не будут уничтожены в процессе компостирования.

Этот тип компостирования может включать в себя компостирование в виде слоя, холодного бункера и кучи.

Этот метод можно использовать для накопления органических веществ по всему двору.

Холодные сваи можно строить там, где нужен компост, под деревьями, в местах, которые будут садом в следующем году и т. д. Через год или два материал будут полностью разложены, содержать ценные органические вещества.

1.4.4.2 Горячее (быстрое) компостирование

Горячее (быстрое) компостирование обеспечит максимальную скорость компостирования и лучший контроль над семенами сорняков и возбудителями болезней растений. Горячее компостирование также является наиболее интенсивным методом и требует нескольких элементов для успеха, в том числе не менее 1 м³ материала для постройки сваи, смесь цветов (для получения хорошего соотношения C : N); правильное содержание влаги; частое перемешивание для обеспечения аэрации; и размер частиц менее 2–3 см.

1.4.4.3 Использование дождевых червей

Многие знают ценность червей в своем саду. Черви - отличные разлагатели, особенно красные вигглеры и африканские ползунки. Их часто используют, если кухонные и столовые отходы входят в число компостируемых материалов.

1.4.4.4 Смешанный метод

Метод смешивания подходит, если используется «безоборотный» метод или если кто-то хочет ускорить процесс компостирования. Материалы с различным соотношением С : N и влажностью просто смешиваются и добавляются в систему компоста. Это предотвращает образование плотных слоев, которые могут ограничивать поток воды и кислорода через компост.

Добавление смеси в компостную систему производится порциями. Каждая партия должна быть полита так, чтобы влага распределялась равномерно.

Также можно добавлять свежие материалы в активное (или пассивное) компостирование.

Один из способов добавить материалы к существующей стопке - добавить их во время перемешивания. Также хорошо работает закапывание новых материалов в кучу.

Добавление свежих материалов дополнит существующую пищевую базу. Если используются материалы с низким соотношением С : N, эффект будет заключаться в добавлении азота, а потенциально ускорить процесс компостирования можно при увеличении влажности и/или нагревании компостной кучи. Если использовать больше материалов, богатых углеродом, эффект будет замедляться и в процессе компостирования произойдет высушивание кучи и/или снижение температуры кучи.

1.4.5 Требования к показателям компоста

Конечным продуктом данной технологии является компост. В зависимости от исходного сырья полученный компост соответствует продуктам: удобрения органические по ГОСТ 55571-2013 «Удобрения

органические на основе твердых бытовых отходов» или ОМПГ по ТУ 20.15.80-002-70412224-2017 Органо-минеральный почвогрунт (ОМПГ).

По физико-химическим показателям, химическому и санитарно-эпидемиологическому состоянию, компост (почвогрунт (ОМПГ) и/или удобрение) должны соответствовать требованиям, приведенным в таблицах А.1 и А.2 Приложения А.

1.5 Анализ возможного использования полученного удобрения

Удобрение жизненно важно для улучшения работы растений и усвоения питательных веществ. А постоянное использование химических удобрений приводит к ухудшению динамического баланса экосистем почвы, флоры и фауны, а также к загрязнению водных потоков. Необходимость устойчивого удобрения с минимальным воздействием на окружающую среду привело к поиску альтернативных источников удобрений для использования в сельском хозяйстве [22]. Это вызвало растущий интерес к возобновляемому сырью из биомассы в последнее десятилетие.

Возможность использования отходов биомассы в качестве источника органического удобрения оценивается путем изучения их эффективного воздействия. Большая часть отходов биомассы вывозится на свалки (например, в России) или сжигается из-за недостатка места (в Японии). Отходы биомассы содержат ценные питательные вещества, которые можно использовать при правильном обращении. Они содержат большое количество полезных органических веществ и могут использоваться для удобрения почвы. В отличие от химических удобрений, органическое вещество требует более значительного периода для минерализации [49].

Использование органических удобрений также приводит к социально-экономическим и экологическим улучшениям, вносит огромный вклад в здоровье и безопасность людей, качество пищи и сохранение окружающей среды [47].

Использование органических удобрений и внесения изменений в почве очень перспективно для увеличения производства продовольствия и на плодородие почвы с минимальным ущербом для окружающей среды. Органические удобрения улучшают урожай и уменьшают влияние синтетических удобрений на грунтовые воды.

Рост населения мира привел к увеличению потребления продуктов питания, а также к увеличению образования пищевых отходов. Большая их часть попадет на свалки. Другими обычно используемыми методами обработки пищевых отходов сбраживание, компостирование и сжигание. Растущее образование пищевых отходов привлекло внимание к растущим проблемам загрязнения окружающей среды и поставило перед собой задачу создать эффективные способы их переработки. Пищевые отходы содержат большое количество органических компонентов, таких как углеводы, белки, липиды и органические кислоты, что делает их потенциальным источником энергии для роста и развития сельскохозяйственных культур.

Большое количество органических веществ, которые после соответствующей обработки, могут быть успешно использованы в сельскохозяйственном производстве, содержат древесные отходы, обрезки кустарников, сельскохозяйственных и пищевых отходов. Исследования, проведенные в нашей стране и за рубежом, показывают, что кора дерева, опилки, щепа и т. д. могут использоваться для мульчирования и удобрения почвы, подготовки искусственной почвы для теплиц, в качестве подстилки на птицефабриках и птицефабриках с последующим ее использовать в качестве удобрения. На лесосеках мира ежегодно образуется около 240 млн. тонн отходов древесины, значительная их часть находится в наших странах с самым большим лесом в мире. По оценкам экспертов, запасы только древесной зелени достигают 20-30 млн. тонн в год, из которых в настоящее время используется только 10%. Огромное количество древесных отходов накапливается ежегодно в районах сосредоточения деревообрабатывающих предприятий. Их использование наряду с производством органических

удобрений поможет защитить окружающую среду от токсичных продуктов частичного разложения древесины, которое происходит на свалках при длительном хранении [30].

Одним из самых эффективных способов переработки отходов растительного происхождения служит компостирование. Компостирование – это процесс, который позволяет преобразовать органические вещества и биоразлагаемые, пищевые отходы – в устойчивую форму органических веществ и удобрений, и который может быть использован в сельском хозяйстве в качестве добавки к почве. Содержание и качество компоста зависит от типов используемого сырья, процесса компостирования, условий процесса разложения и добавления питательных веществ во время компостирования [32].

1.5.1 Биоремедиация

Процесс компостирования и использование компоста обеспечивают решение для управления промышленными отходами и для рекультивации почв, загрязненных токсичными органическими соединениями и токсичными металлами. Во время компостирования загрязненная почва выкапывается и смешивается с наполнителями, такими как древесная щепа, солома, сено, кукурузные початки, навоз и растительные отходы. Типы используемых поправок зависят от типа почвы, а баланс углерода и азота, необходимый для стимуляции микробной активности помогает при достижении оптимального уровня воздуха и воды. После ремедиации остается богатая гумусом почва без токсичных промежуточных продуктов. Насыпная плотность должна быть достаточно низкой (менее 650 кг на м³), чтобы обеспечить хорошую аэрацию.

Три распространенных способа:

- статическое компостирование биологических штабелей (компост превращается всвай и вентиляция с помощью воздуходувок или вакуумных насосов);

- компостирование внутри емкости с механическим перемешиванием (компост помещается в емкость для обработки, где он перемешивается и аэрируется);

- компостирование валков (компост укладывается длинными кучками, известными как валки и периодически перемешивается мобильной техникой). Компостирование валков обычно рассматривается как наиболее рентабельный способ компостирования [31].

Процесс компостирования может применяться к загрязненным почвам и отложениям болот с биоразлагаемыми органическими соединениями. Полномасштабные проекты демонстрируют, что аэробное термофильное компостирование способно снизить концентрацию большого количества общих промышленных и сельскохозяйственных загрязнителей, таких как углеводороды, пестициды, минеральное масло, взрывчатые вещества, летучие органические растворители и различные ароматические соединения, включая хлорфенолы и полиароматические углеводороды (ПАУ) [34].

Во время компостирования происходят значительные изменения химического состава процесса. Остатки растительного происхождения состоят из полисахаридов (целлюлозы и гемицеллюлозы), лигнина и танина. Конечный продукт имеет низкое содержание полисахаридов, большая часть из которых составляет стенку микробных клеток и внеклеточные вещества, около 25% исходного содержания углерода присутствует в виде высокостабилизированных гуминовых веществ.

Содержание органических веществ от 30% до 50% от сухой массы, остальное минералы. Сочетание высокого содержания органических веществ и множества минералов делает компост отличным адсорбентом как для органических, так и для неорганических химикатов.

1.5.1.1 Композиционные составы

Были исследованы различные составы компоста, но большинство исследователей установили, что наилучшие результаты при восстановлении дает смесь 30% загрязненной почвы с 70 % исходного компостного сырья.

Когда в компостную смесь входит 40% загрязненной почвы, процесс не может достигать необходимых термофильных условий, и разложение загрязняющих веществ происходит в меньшей степени [36, 38, 39].

Большинство химических реакций разложения загрязняющих веществ в почве, где температура составляет всего от 15 °С до 30°С, проходят очень медленно. Высокая температура во время компостирования, ускоряет разложение. Типичные температуры для процесса компостирования составляет в диапазоне 50°С или выше в результате тепла, выделяемого микроорганизмами во время разложения органического материала. В большинстве случаев это достигается за счет использования аборигенных микроорганизмов [49].

В процессах очистки почвы, загрязненной нефтью, хорошие результаты достигаются за счет использования соотношения 75% загрязненной почвы, 20% компоста и 5% птичьего помета или 25% готового компоста и 75% загрязненной почвы, данная величина может варьироваться в зависимости от степени загрязнения.

Эффективно комбинирование исходного сырья, такого как неочищенный навоз, с загрязненной почвой. При использовании свежего навоза требуются дополнительные структурирующие наполнители, что приводит к более высоким затратам на переработку.

1.5.1.2 Преимущества

Традиционное восстановление может стоить в несколько раз дороже, чем биоремедиация путем компостирования. Данная технология ускоряет рост растений и микробное разложение органических загрязнителей, а так же улучшает рост растений в токсичных почвах. Используя процесс компостирования или добавляя компост в процесс восстановления биогенного типа можно сократить время восстановления, а биоремедиация может быть завершена за недели, а не за месяцы. Стоимость восстановления почвы может увеличиваться, так как процесс должен контролироваться и эксплуатироваться в течение длительного периода.

Компост имеет высокое микробное разнообразие с большим количеством микробных популяций, даже выше чем у плодородных почв.

Таким образом, биоремедиация компоста занимает гораздо меньше времени, чем естественное восстановление.

Поскольку микробы являются основными агентами разложения органическихзагрязняющих веществ в почве, увеличение микробной плотности может ускорить разложение загрязняющих веществ.

1.5.1.3 Ограничения

Следующие факторы могут ограничить применимость и эффективность компоста в биоремедиации почвы:

- Для компостирования требуется значительное пространство.
- Требуется изъятие загрязненных почв, которые могут вызвать неконтролируемые выбросы летучих органических соединений (ЛОС). Высокий уровень выбросов также наблюдаются при компостировании валков. Если загрязнители ЛОС присутствуют в почвах, может потребоваться контроль отходящих газов.
- Компостирование приводит к увеличению объема материала из-за добавления различных наполнителей. Окончательная обеззараженная смесь имеет околдовое больше объема загрязненной почвы, потому что потери объема компостируемой смеси обычно составляет около 50% от начальной. Объем загрязненной почвы может увеличиться, если процесс биоремедиации не достиг ожидаемого уровня.

1.5.2 Компостирование биомассы растений с высокой концентрацией металлов

Фитоэкстракция - перспективный и экономичный метод рекультивации почв, загрязненных токсичными металлами. В настоящее время существуют две основные стратегии фитоэкстракции:

- индуцированная фитоэкстракция и непрерывная фитоэкстракция.

«Первый метод основан на выращивании культур с высоким содержанием биомассы, которые способны накапливать высокие

концентрации тяжелых металлов. Такие растения совместимы с обычными методами ведения сельского хозяйства и позволяют многократно сажать и собирать богатые металлами растениями.

Второй подход зависит от естественной способности некоторых растений накапливать, перемещать, и сопротивляться высокому количеству тяжелых металлов в течение полного цикла роста. Такие растения известны как гипераккумуляторы.

Растения, обладающие этими возможностями, производят относительно низкую биомассу и несовместимы с рутинной сельскохозяйственной практикой» [54].

«Такое компостирование было предложено в качестве обработки биомассы после сбора урожая. Авторы исследований Кумар и Раскин провели лабораторные эксперименты после индуцированной фитоэкстракции растительным материалом (мелкие подсолнухи, травы), загрязненным свинцом.

Распавшиеся биомасса (частицы диаметром менее 0,16 см) компостируют в 125 мл боросиликатном флаконе с постоянной аэрацией около 2 месяцев. Общая потеря сухой массы составила около 25 %.

Однако испытания на выщелачивание компостированного материала показали, что в процессе компостирования образовывались растворимые органические соединения, повышающие растворимость свинца. Эти результаты документально подтвердили, что компостирование может значительно уменьшить объем биомассы собранного урожая. Но, тем не менее, биомасса растений, загрязненная свинцом, по-прежнему требовала обработки перед утилизацией» [48]. Биомасса растений, собранная после индуцированной фитоэкстракции, может содержать компостируемые пищевые и сельскохозяйственные отходы, содержащие очень подвижные и выщелачиваемые металло-хелатные комплексы.

«Более того, исследования ученого Чао так же показали, что большая часть цинка присутствует также в водорастворимых формах в листьях

гипераккумуляторов. Это означает, что процесс компостирования следует проводить осторожно, чтобы избежать нежелательного выщелачивания, независимо от типа используемой фитоэкстракции.

Необходимо подчеркнуть, что цель компостирования – уменьшить объем и вес растительного материала без учета сельскохозяйственных свойства конечного продукта. Общая потеря сухой массы зараженной биомассы растений представляет преимущество метода компостирования в качестве этапа предварительной обработки. Это снизит затраты на транспортировку готового материала, а также затраты на размещение или переработку опасных отходов. Однако процесс компостирования длится от 2 до 3 месяцев, что увеличивает время от сбора урожая до окончательной переработки.

Кроме того, загрязненная разложившаяся биомасса должна рассматриваться как опасный материал, необходимый в дальнейшем утилизировать или подвергнуть дополнительным исследованиям на токсичность хелатирующих агентов в собранном растительном материале в сочетании с металлами при процессе компостирования» [3].

1.5.3 Подавление болезней растений

Компост обладает способностью подавлять болезни растений при использовании в качестве удобрения почвы. Удивительное разнообразие микробов, многие из которых могут быть полезны при борьбе с болезнетворными микроорганизмами, является основной причиной подавления болезни. Полезные микробы помогают контролировать патогенные микроорганизмы растений посредством специального или общего подавления.

Общее подавление происходит, когда полезный микроб заполняет экологическую нишу, которая в противном случае была бы использована патогеном. Например, полезный организм может побеждать патогенный микроорганизм за энергию, питательные вещества или «жизненное пространство», тем самым уменьшая выживаемость возбудителя.

Специфическое подавление происходит, когда некоторые метаболиты, секретируемые полезными организмами токсичны для патогена или когда патоген паразитирует определенными организмами. Многие патогены растений содержат целлюлозу или хитин (обычно встречается у насекомых и грибов), и все они содержат полимеры сахара. Некоторые компостные микроорганизмы, такие как *Gliocladium*, *Pseudomonas*, триходермия и стрептомицеты вырабатывают ферменты, способные расщеплять эти соединения уничтожают и убивают болезнетворные микроорганизмы в процессе.

Эти специфические микроорганизмы, борющиеся с болезнями, естественным образом содержатся в компосте или их добавляют после термофильной стадии процесса компостирования. Перегревание на этом этапе компостирования часто приводит не только к гибели патогенов, но также и к гибели полезных микроорганизмов, которые не переносят высоких температур. Таким образом, чтобы компост служил средством минимизации патогенов растений в бурт должно быть повторно заселены полезные микроорганизмы. Когда в компосты не вносят полезные микроорганизмы, переселение происходит естественным путем. Тем не менее, некоторые исследования показывают, что контролируемая инокуляция компоста известными агентами биоконтроля (грибки и бактерии) необходима для постоянного подавления уровня патогенов в полевых условиях. Затем этот измененный компост можно вносить к посевам, пораженным известными болезнями. Исследования показали, что компост значительно уменьшил или заменил применение пестицидов, фунгицидов и нематодцидов, которые могут отрицательно повлиять на водные ресурсы, безопасность пищевых продуктов и безопасность работников.

2 Разработка технологии получения удобрения из отходов древесины, обрезки кустарника, сельскохозяйственных и пищевых отходов

2.1 Описание предлагаемой технологии

Процесс компостирования проходит в 4 фазы:

Активная фаза компостирования (мезофильная) t до 60 °С (max 85 °С).

Цикл 28 суток.

Фаза «нестабильного» компоста (термофильная) t от 60 °С (max 85 °С).

Цикл 14 суток.

Фаза «стабильного»/«зрелого» компоста (без мембраны) t от 35-37 °С с уменьшением до окружающей среды. Цикл до 14 суток.

Фаза просеивания и хранения.

Типичный процесс компостирования длится восемь недель и разделен на 3 основные фазы.

- Исходный материал накрывается ламинированным трехслойным буртовым покрытием и в течение четырех недель находится в фазе I, подвергаясь интенсивному разложению.

- Далее покрытие снимается с бурта, и компостируемая масса переносится фронтальным погрузчиком на площадку следующего бурта для второй фазы компостирования и снова накрывается покрытием для последующего биологического разложения на протяжении следующих двух недель фазы II.

- После чего материал подвергается окончательному двухнедельному процессу вызревания в третьей фазе, которая проходит без покрытия. Здесь материал из фазы II помещается на новую буртовую площадку, где фиксируется только лишь температура.

В начале процесса отходы находятся при температуре окружающей среды, рН в них слабокислое. В начальной мезофильной стадии

микроорганизмы, присутствующие в отходах, начинают быстро размножаться, за счет этого поднимается температура, и среда подкисляется за счет образования органических кислот. При температуре выше 60 °С начинают гибнуть исходные мезофилы и преобладать термофилы. При такой температуре грибы становятся неактивными. После 60 °С в основном работают спорообразующие бактерии и актиномицеты, рН среды становится щелочной за счет выделения аммиака при распаде белков. В течение термофильной фазы наиболее легко разлагаемые субстраты, такие как сахара, жиры, белки, и скорость реакции начинает падать после того, как в нее вовлекаются более устойчивые субстраты. Затем компост вступает в стадию остывания.

Данный процесс представлен на рисунке 7.

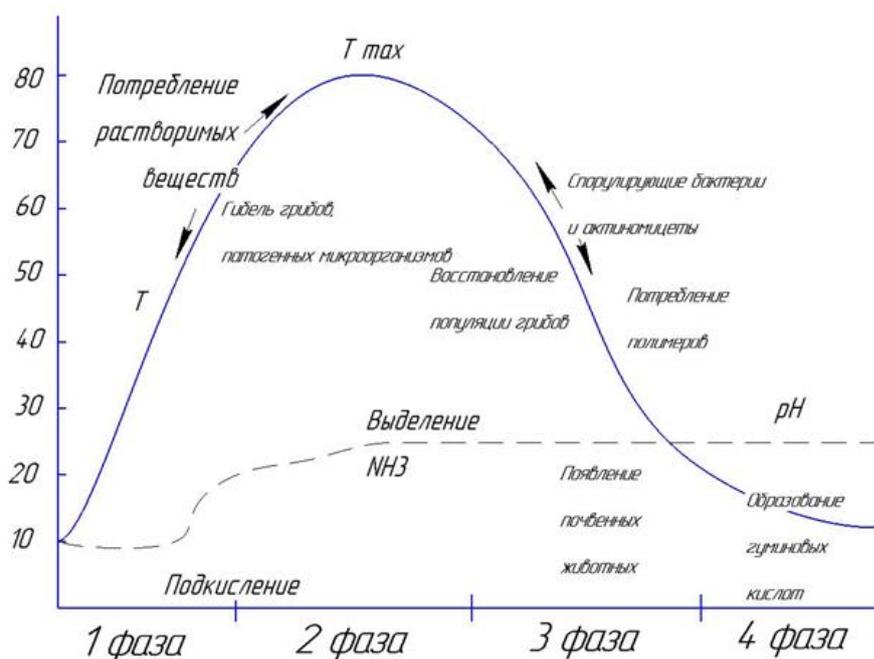


Рисунок 7 – Фазы компостирования

Анализ современных способов и технических средств ускоренного компостирования позволил установить, что практический интерес представляет АСП-компостирование (Aerated Static Pile (ASP) composting), сочетающее преимущества площадочного способа компостирования

(большие объемы переработки, сравнительно низкие эксплуатационные затраты) и камерного способа (независимость от атмосферных осадков, высокое качество компоста, значительное снижение выбросов загрязняющих атмосферу компонентов (микроорганизмы, меркаптаны, амины, аммиак, сероводород, карбоновые кислоты, карбонильные соединения, пыль пуховая, сульфиды, фенолы)) [43].

Принципиальная схема статического компостирования в буртах представлена на рисунке 8.

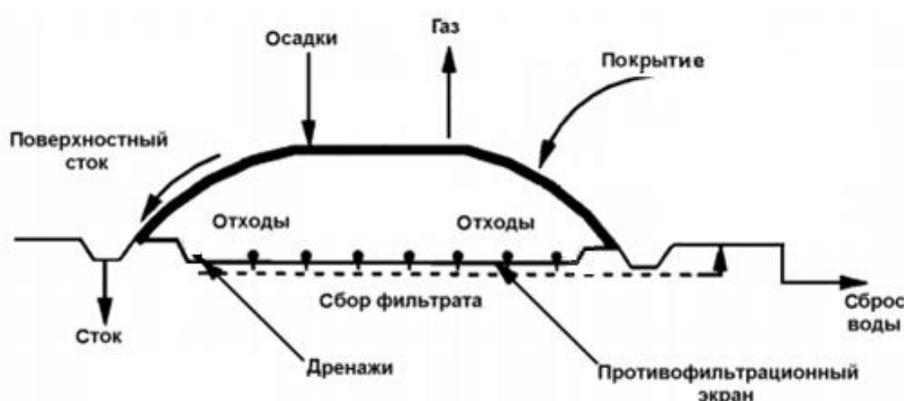


Рисунок 8 – Схема статического компостирования в буртах

«В России данный метод получил название компостирование отходов в «климатической камере». В основе данного метода лежит применение для покрытия буртов специального материала, который незначительно снижает воздухообмен, в то же время, препятствуя проникновению в компостируемый материал атмосферных осадков. Комплекс для статического компостирования представляет собой модульную бетонированную площадку с ваннами для размещения компостируемых отходов» [53].

«Данная технология отличается уменьшенным выбросом вредных газов и запахов за счёт того, что бурты с компостируемым материалом закрыты материалом. Покрытие для статического компостирования состоит из двух основных слоёв, устойчивых к ультрафиолетовому излучению и воздействию влаги. Данный материал безопасно защищает компостируемую массу от

погодных воздействий и увлажнения дождевой водой» [50]. Внутренняя часть задерживает запахи, пыль, споры и бактерии, но проницаема для воздуха и влаги. Микроклимат под покрытием генерируется с помощью проницаемого воздуха, образуя среду, которая необходима микроорганизмами, чтобы разложить органические отходы в компост.

Для расчетов материального и теплового балансов будем ориентироваться на стадию биотермического разложения с получением продукта – компоста. Схема данной стадии представлена на рисунке 9.

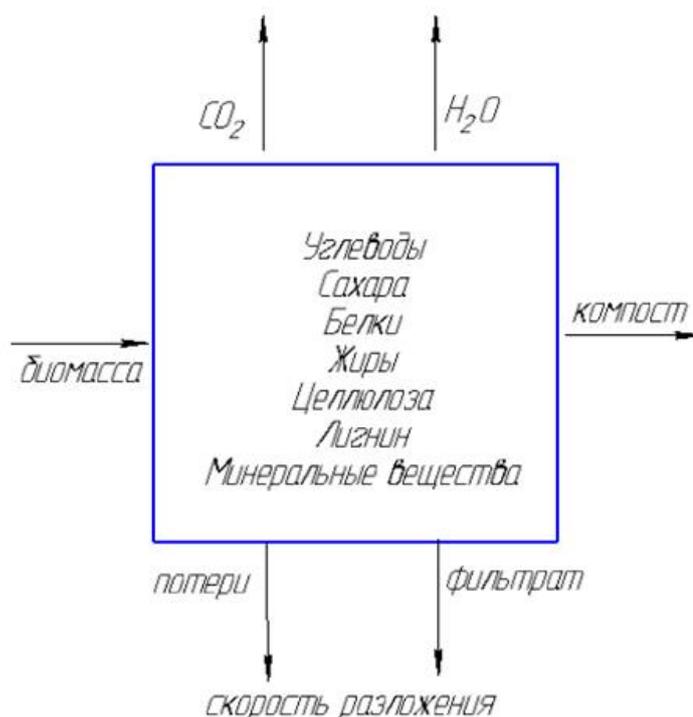


Рисунок 9 – Процесс компостирования ТКО

При компостировании органических отходов происходит биотермическое разложение органического вещества в результате жизнедеятельности сапрофитных аэробных микроорганизмов, способных выделять при биохимических реакциях обмена веществ некоторое количество тепла [9].

«Органические отходы промышленного, сельскохозяйственного, коммунального происхождения представляют собой смесь сахаров, белков,

жиров, гемицеллюлозы, целлюлозы, лигнина и неорганических солей в широком интервале концентраций» [53].

Состав таких отходов, %: водорастворимые соединения (сахара, крахмал, аминокислоты, аммонийные соли) 2-30; жиры, масла, воски 1-15; белок 5-40; гемицеллюлоза 15-60; лигнин 5-30; зола 5-25.

«Требуемая для проведения биотермического процесса микрофлора имеется в органических отходах. Активизация ее жизнедеятельности обеспечивается за счет таких параметров, как:

- увеличения удельной поверхности при измельчении;
- аэрации компостируемой массы в объемах 0,2-0,8 м³ на 1 кг;
- вида перерабатываемого материала;
- перемешивания материала;
- поддержания влажности массы не ниже 45 и не выше 60 %;
- теплоизоляции, способствующей сохранению выделяющегося тепла и подъему температуры компостируемого материала.

В процессе компостирования принимают участие более 2000 видов бактерий и около 50 видов грибов. Среди них встречаются психрофилы (оптимальная температура роста до 20 °С), мезофилы (от 20 до 60 °С) и термофилы (свыше 60 °С). На последней стадии компостирования преобладают, как правило, мезофилы. За время протекания процесса компостирования численность и видовой состав микроорганизмов меняется.

В начале процесса компостирования преобладают аэробные термофильные бактерии, на последующих стадиях численность их падает и увеличивается популяция актиномицетов, так как скорость роста их намного меньше, чем бактерий и грибов. Одним из основных факторов, регулирующих развитие грибов, является температура, так как грибы погибают, если она поднимается выше 60 °С» [54].

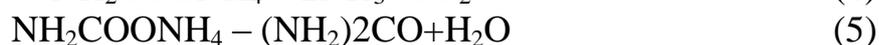
После понижения температуры они вновь распространяются из более холодных зон по всему объему. После того как достигнут максимум

температуры, компост, остывая, становится доступным для простейших (одноклеточные организмы) и почвенных животных.

При наличии микроорганизмов, актиномицетов и грибов компостируемая масса (пищевые отходы, бумага, древесина, навоз, отходы обработки зерна и др.) разрушается по следующей схеме: протеин — пептиды — аминокислоты — аммиачные, соединения — протоплазма бактерий + азот или аммиак. Это — для азотистых соединений.

Для углеродистых соединений: углеводы — простые сахара — органические кислоты — протоплазма бактерий + углекислый газ.

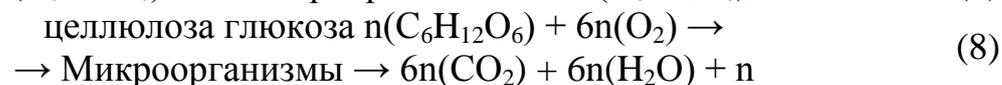
При разложении мочевины образуется аммиак, углекислый газ и вода:



Клетчатка, содержащаяся в растительных остатках, разлагается с образованием углекислого газа, воды и выделением тепла:



Аэробные биохимические реакции, протекающие при компостировании, можно представить в следующем виде:



Целлюлоза может быть окислена до углекислого газа и воды в аэробных условиях с выделением 2796 КДж на 1 моль глюкозы - составной части целлюлозы. Переработанные таким образом отходы вступают в естественный круговорот веществ в природе за счет их обезвреживания и превращения в компост [50].

2.2 Материальный баланс

Цель материального расчета - определение расхода сырья и вспомогательных материалов для обеспечения заданной производительности по целевому продукту.

Согласно закону сохранения материи, масса веществ, поступающих в какую-либо систему, равна массе веществ, покидающих эту систему, независимо от того, какие физические или химические изменения они претерпевают.

Биодеградация ингредиентов, составляющих компостируемую массу, приводит к потере 30–40 % органического вещества в виде углекислого газа и воды. Поэтому при расчетах принимаем, что при начальной массе компостируемого материала 100 %, конечная масса составит 60 %. Удаляемая часть компоста в соответствии с технологическим процессом просеивается.

Исходные данные:

В таблице 4 и 5 представлен состав компостируемой биомассы и компонентный состав отходов соответственно.

Компонентный состав подобран из справочных данных [35].

Таблица 4 – Состав компостируемой биомассы из ФККО

| № п/п | Классификация отходов | Наименование отхода | Код |
|-------|------------------------------------|---|------------------|
| 1 | Углеводосодержащие отходы | Пищевые отходы кухонь и организаций общественного питания несортированные | 7 36 100 01 30 5 |
| 2 | Животноводческие отходы | Навоз крупного рогатого скота свежий | 1 12 110 01 33 4 |
| 3 | Древесно-растительные отходы (ДРО) | Растительные отходы при уходе за древесно-кустарниковыми посадками | 7 31 300 02 20 5 |

Таблица 5 – Компонентный состав отходов

| № п/п | Наименование отхода | Компонентный состав | Процентное соотношение, % |
|-------|---|--|---------------------------|
| 1 | Пищевые отходы кухонь и организаций общественного питания несортированные | Картофель и его очистки | 58,5 |
| | | Овощные отходы | 10,6 |
| | | Фруктовые отходы | 5,8 |
| | | Мясные отходы | 2,5 |
| | | Рыбные отходы | 2,2 |
| | | Хлеб и хлебобродуки | 1,6 |
| | | Молочные и сырные отходы | 0,4 |
| | | Кости | 3,7 |
| | | Яичная скорлупа | 0,4 |
| | | Животные и растительные жиры | 8 |
| | | Прочие (непищевые отходы) | 2,7 |
| 2 | Навоз крупного рогатого скота свежий | Лигнин | 22 |
| | | Влага | 24,5 |
| | | Целлюлоза | 27 |
| | | Полуцеллюлоза | 19 |
| | | Жирные и другие летучие кислоты | 3,1 |
| | | Азотные соединения | 3,4 |
| | | Фосфорные соединения | 1,0 |
| 3 | Растительные отходы при уходе за древесно-кустарниковыми посадками | Древесные, кустарниковые растения и их части | 56,4 |
| | | Травянистые растения и их части | 29,9 |

| | | | |
|--|----------------|------------|------|
| | Опилки щепа | древесные, | 13,7 |
|--|----------------|------------|------|

На рисунке 10 представлены материальные потоки процесса компостирования отходов.

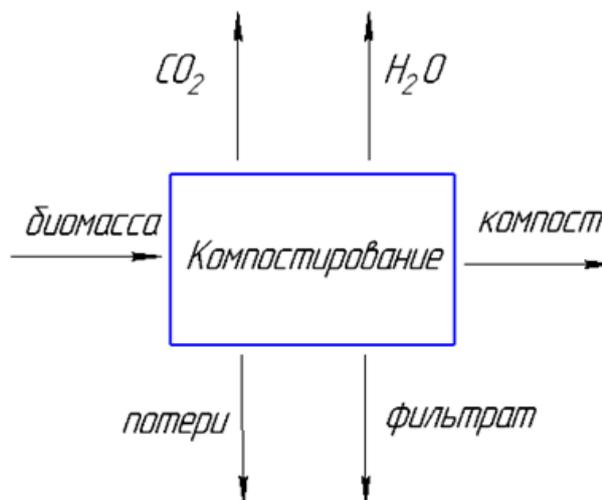


Рисунок 10 – Схема материальных потоков компостирования

Расчет будет производиться на 1 т компостируемой биомассы.

Расчетные параметры процесса компостирования:

- компостируемая биомасса $G_{\text{биомасса}} = 1000$ кг (пищевые отходы кухонь и организаций общественного питания несортированные – 56 %, навоз крупного рогатого скота свежий – 11 %, растительные отходы при уходе за древесно-кустарниковыми посадками – 33 %).

- количество буртов – 1;

- температура $t = +57$ °С;

- относительная влажность воздуха $\varphi = 55$ %;

- парциальное давление пара у поверхности испаряющейся воды (при 57 °С) $p = 17,324$ кПа = 1766,6 кг/м²;

- газовая постоянная для 1 кг пара $R_{\text{п}} = 461,5$ Дж/кг · град;

- высота бурта – 1 м.

- Основное уравнение материального баланса имеет вид и выражено формулой 11:

$$G_{\text{биомасса}} = G_{\text{компост}} + G_{\text{фильтрат}} + G_{\text{H}_2\text{O}} + G_{\text{CO}_2} + G_{\text{потери}}, \quad (11)$$

где $G_{\text{биомасса}}$ – масса компостируемых отходов, кг;

$G_{\text{компост}}$ – масса полученного компоста, кг;

$G_{\text{фильтрат}}$ – масса образовавшегося в процессе компостирования фильтрата, кг;

$G_{\text{H}_2\text{O}}$ – масса пара, образовавшегося в процессе компостирования, кг;

$G_{\text{потери}}$ – масса потерь процесса компостирования (неразложившейся биомассы), кг.

- Массу полученного компоста находится по формуле 12:

$$G_{\text{компост}} = G_{\text{биомасса}} - (G_{\text{фильтрат}} + G_{\text{H}_2\text{O}} + G_{\text{CO}_2} + G_{\text{потери}}) \quad (12)$$

- По Луканину H_2O и CO_2 составляют 40 % исходной массы, в соотношении 0,3:0,7 [5]. Тогда рассчитаем количество образовавшихся фильтрата и углекислого газа по формуле 13 и 14 соответственно:

$$G_{\text{фильтрат}} = G_{\text{биомасса}} \cdot 0,4 \cdot 0,3 \quad (13)$$

$$G_{\text{CO}_2} = G_{\text{биомасса}} \cdot 0,4 \cdot 0,7 \quad (14)$$

$$G_{\text{фильтрат}} = 1000 \cdot 0,4 \cdot 0,3 = 120 \text{ кг}$$

$$G_{\text{CO}_2} = 1000 \cdot 0,4 \cdot 0,7 = 280 \text{ кг}$$

- При расчете примем потери равными 4 % и найдем их по формуле 15:

$$G_{\text{потери}} = G_{\text{биомасса}} \cdot 0,04 \quad (15)$$

$$G_{\text{потери}} = 1000 \cdot 0,04 = 40$$

- Найдем количество пара, испарившегося с поверхности бурта (кг/ч) по формуле 16:

$$G_{H_2O} = F \cdot k \cdot \beta \cdot (p - p_0), \quad (16)$$

где β – коэффициент испарения, м/ч;

k – коэффициент пропорциональности (поправочный коэффициент)
= 0,001;

F – свободная поверхность испарения, м², $F = 2,96$ м²;

p – парциальное давление пара у поверхности испаряющейся воды
(при 57 °С), кг/м²;

p_0 – давление насыщенного пара (при 57 °С), кг/м².

Давление насыщенного пара найдем относительно влажности по формуле 17:

$$\varphi = \frac{p_0}{p} \cdot 100 \% \quad (17)$$

Выразим из формулы 17 давление насыщенного пара:

$$p_0 = \frac{\varphi}{100 \%} \cdot p \quad (18)$$

$$p_0 = \frac{1766,6}{100} \cdot 55 = 971 \text{ кг/м}^2$$

Учитывая, что данная формула справедлива для испарения с зеркала жидкости, а в нашем случае вода распределена во всем объеме компостируемой массы, что создает существенное сопротивление испарению, в формулу вводим поправочный коэффициент k .

- Для определения коэффициента испарения обычно применяют следующие критериальные выражения, которые находятся по формуле 19:

$$Nu' = f(Re, Gr', Pr', Gu), \quad (19)$$

где Nu' – диффузионный критерий Нуссельта;

Re – критерий Рейнольдса;

Gr – диффузионный критерий Грасгофа;

Pr' – диффузионный критерий Прандтля;

Gu – критерий Гухмана.

- Диффузионный критерий Нуссельта находится по формуле 20:

$$Nu' = \frac{\beta \cdot l}{D}, \quad (20)$$

где l – характерный линейный размер, м;

D – коэффициент диффузии, $m^2/ч$, за характерный размер в расчетах принимаем высоту бурта равной 2 м.

- Критерий Рейнольдса найдем по формуле 21:

$$Re = \frac{C_0}{\nu}, \quad (21)$$

где C_0 – скорость воздуха над поверхностью жидкости, м/с;

ν – кинематический коэффициент вязкости воздуха, $m^2/с$, значение кинематического коэффициента вязкости принимаем равным $15,11 \cdot 10^6 m^2/с$.

- Диффузионный критерий Грасгофа найдем по формуле 22:

$$Gr' = \frac{gl^3}{\nu^2} \left(\frac{m_{\Pi} \cdot T_B}{m_B \cdot T_{\Pi}} \right), \quad (22)$$

где gl^3/ν^2 – ускорение силы тяжести, $m/с^2$;

m_{Π} , m_B – молекулярный вес паровоздушной смеси непосредственно у поверхности воды и в среднем в объеме воздуха;

T_{Π} , T_B – температура поверхности воды и температура воздуха, К.

- Диффузионный критерий Прандтля найдем по формуле 23. Отнесение количества пара G_{H_2O} к разности парциальных давлений влияет на запись критерия Прандтля, поэтому формула будет иметь вид:

$$Pr'' = \frac{\nu}{D \cdot R_{II} \cdot T'} \quad (23)$$

где R_{II} – газовая постоянная для 1 кг пара.

- Критерий Гухмана найдем по формуле 24:

$$Gu = \frac{T_B - T_M}{T_B}, \quad (24)$$

где T_B , T_M – температура воздуха по сухому и мокрому термометрам, К.

- Коэффициент диффузии ($m^2/ч$) найдем по формуле 25:

$$D = 0,0754 \left(\frac{T}{273} \right)^{1,82} \cdot \frac{760}{p_0} \quad (25)$$

$$D = 0,0754 \left(\frac{330}{273} \right)^{1,82} \cdot \frac{760}{971} = 0,083 \frac{m^2}{ч}$$

- Таким образом, выражение (9) примет следующий вид будет выражаться формулой 26:

$$Nu' = A Re^m \cdot Gr'^n \cdot Pr'^o \cdot Gu^p \quad (26)$$

где величины A , m , n , o , p – постоянные, взятые из справочных данных [4], представленные в таблице Б.1 Приложения Б.

По условиям процесса компостирования выбираем случай свободной конвекции. Тогда, согласно справочным данным [4] коэффициенты m, p будут равны нулю. Соответственно, критерии Рейнольдса и Гухмана в выражении (25) не учитываются.

Процесс биотермического разложения органического вещества включает три стадии: фазу увеличения температуры, фазу высоких температур (50 – 80 °С) и фазу падения температуры.

Для того чтобы значения критериев Грасгофа и Прандтля получились более достоверными, их рассчитывали для нескольких диапазонов температур (диапазон 10 °С) и потом усредняли результаты. По результатам расчетов усредненные критерии Грасгофа и Прандтля равны $3,964 \cdot 10^{10}$ и $1,143 \cdot 10^{-8}$ соответственно [4].

- Критерий Нуссельта определим из соотношения (26):

$$Nu' = 0,065 \cdot (3,964 \cdot 10^{10})^{0,25} \cdot (1,143 \cdot 10^{-8})^{0,25} = 0,296$$

- Для определения коэффициента испарения β воспользуемся формулой 27:

$$\beta = \frac{Nu' \cdot D}{1} \quad (27)$$

$$\beta = \frac{0,296 \cdot 0,083}{1} = 0,025 \text{ м/ч}$$

- Тогда найдем количество пара, испарившегося с поверхности бурта по формуле 26:

$$G_{H_2O} = 2,96 \cdot 0,001 \cdot 0,025 \cdot (1766,6 - 971) = 0,06 \frac{\text{кг}}{\text{ч}} = 43,2 \frac{\text{кг}}{\text{мес}}$$

- Массу полученного компоста рассчитаем по формуле 2:

$$G_{\text{компост}} = 1000 - (120 + 280 + 43,2 + 40) = 556,8 \text{ кг}$$

На основе расчетов составим таблицу 6.

Таблица 6 – Материальный баланс

| Приход | | | Расход | | |
|---------------|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|
| Компонент | Масса, кг/мес | Содержание, % | Компонент | Масса, кг/мес | Содержание, % |
| Биомасса | 1000 | 100 | Компост | 556,8 | 53,54 |
| | | | Фильтрат | 120 | 11,54 |
| | | | Пар | 43,2 | 4,14 |
| | | | Углекислый газ | 280 | 26,92 |
| | | | Потери | 40 | 3,86 |
| Итого: | 1000 | 100 | Итого: | 1040 | 100 |

2.3 Тепловой баланс процесса компостирования

По литературным данным [50] принимаем удельную теплоемкость ДРО $Q_1 = 2720$ Дж/(кг · К), углеводосодержащих отходов (при влажности 85-95%), как близкой к теплоемкости воды $Q_2 = 4200$ Дж/(кг · К), животноводческих отходов (при влажности 73-82%) – как теплоемкость воды $Q_3 = 4180$ Дж/(кг · К).

Длина бурта $h = 10$.

Масса 1 погонного метра бурта 100 кг.

Площадь поверхности излучения $F = 1$ м².

- Тепловой баланс процесса компостирования выразим формулой 28:

$$Q_{\text{биомасса}} + Q_{\text{микроорганизмы}} = Q_{\text{потери}} + Q_{\text{H}_2\text{O}} + Q_{\text{компост}} + Q_{\text{луч}}, \quad (28)$$

где $Q_{\text{биомасса}}$ – тепло, вносимое с компостируемой массой;

$Q_{\text{микроорганизмы}}$ – тепло, выделяющееся в процессе жизнедеятельности микроорганизмов;

$Q_{\text{потери}}$ – тепло, уносимое с непереработанными отходами;

Q_{H_2O} – тепло, затрачиваемое на испарение влаги;

$Q_{\text{компост}}$ – оставшееся тепло готового компоста;

$Q_{\text{луч}}$ – тепло, расходуемое лучеиспусканием от наиболее нагретого тела (компостный ряд) к менее нагретому (окружающая среда).

Теплом, вносимым с воздухом и подаваемым на аэрацию компоста, в первой фазе можно пренебречь, так как в зависимости от условий оно может быть, как положительным, так и отрицательным.

- Тепло, вносимое с компостируемой массой $Q_{\text{биомасса}}$, найдем по формуле 29:

$$Q_{\text{биомасса}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (29)$$

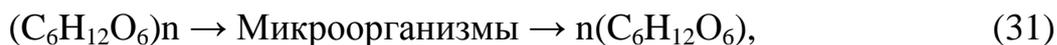
$$Q_{\text{биомасса}} = 2,72 + 4,2 + 4,18 = 11,1 \text{ МДж}$$

Тепло, выделяемое в процессе компостирования на 1 кг компостируемой массы, составляет 11,1 МДж, соответственно, для нашей компостируемой массы $m_1 = 100$ кг находится по формуле 30:

$$Q_{\text{общ}} = Q_{\text{биомасса}} \cdot m_1 \quad (30)$$

$$Q_{\text{общ}} = 100 \cdot 11,1 = 1110 \text{ МДж}$$

- Аэробные биохимические реакции, протекающие при компостировании, можно представить реакциями 31-34:



Тогда примем $Q_{\text{микроорганизмы}} = 2,796 \text{ МДж}$.

- Для расходуемого тепла используем справочные данные [50], так, тепло, уносимое с непереработанными отходами (примем ДРО) - составляет 30 % от общего количества потерь, подаваемых на компостирование.

Таким образом, рассчитаем $Q_{\text{потерь}}$ по формуле 35:

$$Q_{\text{потерь ДРО}} = \frac{Q \cdot C}{100 \%} \quad (35)$$

где Q – удельная теплоемкость, МДж;

C – содержание непереработанных отходов, %.

$$Q_{\text{потерь ДРО}} = \frac{2,72 \cdot 30}{100 \%} = 0,816 \text{ МДж}$$

- Для расходуемого тепла используем справочные данные [50], так, тепло готового компоста найдем с учетом 40 % убыли компостируемой массы по формуле 36:

$$Q_{\text{компост}} = Q_{\text{биомасса}} - \frac{Q_{\text{биомасса}} \cdot C}{100 \%} \quad (36)$$

$$Q_{\text{компост}} = 11,1 - \frac{11,1 \cdot 40}{100 \%} = 6,54 \text{ МДж}$$

- Из материального баланса процесса известно, что количество испарившегося пара с поверхности бурта – 43,2 кг, поэтому $Q_{\text{H}_2\text{O}}$ рассчитаем по формуле 37:

$$Q_{\text{H}_2\text{O}} = C_{\text{H}_2\text{O}} \cdot 4,2 \quad (37)$$

где 4,2 МДж – удельная теплоемкость воды.

$$Q_{\text{H}_2\text{O}} = 43,2 \cdot 4,2 = 181,44 \text{ МДж}$$

- Количество тепла, переходящего от более нагретого тела к менее нагретому посредством лучеиспускания, определим по формуле 38:

$$Q_{\text{луч}} = C \cdot \varphi \cdot F \cdot \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right], \quad (38)$$

где C – коэффициент излучения, Вт/(м²· К⁴);

F – площадь поверхности излучения, м²,

φ – угловой коэффициент, безразмерный (примем = 1)

T_1 – температура поверхности более нагретого тела (поверхность испарения влаги), К;

T_2 – температура поверхности менее нагретого тела (температура воздуха), К;

C – коэффициент лучеиспускания.

- коэффициент лучеиспускания находится по формуле 39:

$$C = e \cdot C_{\text{ч}}, \quad (39)$$

$C_{\text{ч}} = 5,244$ Вт/(м²· К⁴) – коэффициент излучения абсолютно черного тела;

e - степени черноты поверхности тела (примем $e = 0,92$).

$$C = 0,92 \cdot 5,244 = 4,824$$

Так как температура поверхности испарения компостируемой массы может изменяться в течение процесса с 15 до 57 °С, определим теплоту для нескольких температур поверхности.

Подставим исходные данные в формулу 38:

$$Q_{\text{луч1}} = 4,824 \cdot 1 \cdot 1 \cdot \left[\left(\frac{298}{100} \right)^4 - \left(\frac{293}{100} \right)^4 \right] = 24,9 \text{ МДж}$$

$$Q_{\text{луч2}} = 4,824 \cdot 1 \cdot 1 \cdot \left[\left(\frac{308}{100} \right)^4 - \left(\frac{293}{100} \right)^4 \right] = 78,6 \text{ МДж}$$

$$Q_{\text{луч3}} = 4,824 \cdot 1 \cdot 1 \cdot \left[\left(\frac{318}{100} \right)^4 - \left(\frac{293}{100} \right)^4 \right] = 137,8 \text{ МДж}$$

$$Q_{\text{луч4}} = 4,824 \cdot 1 \cdot 1 \cdot \left[\left(\frac{328}{100} \right)^4 - \left(\frac{293}{100} \right)^4 \right] = 202,8 \text{ МДж}$$

$$Q_{\text{луч об}} = 24,9 + 78,6 + 137,8 + 202,8 = 444,1$$

На основе расчетов составим таблицу 7.

Таблица 7 – Тепловой баланс

| Начало процесса | | Конец процесса | |
|-------------------------|-----------------|-------------------------------|----------------|
| Компонент | Тепло, МДж | Компонент | Тепло, МДж |
| Биомасса | 11,1 | Компост | 6,54 |
| Процесс компостирования | 1110 | Непереработанные отходы (ДРО) | 0,816 |
| Микроорганизмы | 2,796 | Пар | 181,44 |
| - | - | Остывание массы (излучение) | 444,1 |
| Итого: | 1123,896 | Итого: | 632,893 |

Из таблицы следует, что наибольшее количество тепла уходит на излучение и на испарение воды. Также ясно, что тепло, образующееся во время процесса, будет компенсировать данные теплотери, а также потери, связанные с остыванием массы, значит, дополнительно вводить тепло в процесс не нужно.

Заключение

В теоретической части обоснована возможность утилизации отходов растительного и животного происхождения для получения высокоэффективных органических удобрений для нужд растениеводства. Это позволит хозяйствам исключить ежегодные многомиллионные затраты на приобретение минеральных (химических) удобрений, организовать производство экологически чистых продуктов питания, создать новые рабочие места, снизить себестоимость производимой продукции и экономить собственные финансовые ресурсы хозяйств до 30-50 % в год.

Анализ патентной деятельности позволил создать доступное для понимания визуальное отображение информации, как из патентных документов, так и о них самих. В результате, в научной работе было отражено, что большое количество органических веществ после соответствующей обработки успешно используются в производстве.

Исследования, проведенные в нашей стране и за рубежом, показывают, что кора дерева, опилки, щепа и обрезки кустарников могут использоваться для мульчирования и удобрения почвы, основы для компоста, подготовки искусственной почвы для теплиц, доступной замены торфа, в качестве подстилки на птицефабриках и птицефабриках с последующим ее использовать в качестве удобрения. Не менее ценным органическим удобрением является лигнин. Гидролитический лигнин представляет собой твердый остаток, образующийся после обработки древесины серной кислотой. Эффективными методами обработки и сельскохозяйственных отходов служат сбраживание, компостирование и сжигание. Отходы содержат большое количество органических компонентов, таких как углеводы, белки, липиды и органические кислоты, что делает их потенциальным источником энергии для роста и развития сельскохозяйственных культур. Поэтому переработка и вторичное использование вышеупомянутых отходов позволит решать и экологическую

проблему – из категории загрязнителей окружающей среды они перейдут в разряд почвенных мелиорантов.

На основе детализированного анализа литературных источников и технологий производств органических удобрений, можно сделать выводы, что универсальным способом переработки древесно-органических отходов, сельскохозяйственных и пищевых отходов является биокomпостирование.

Подобрано технологическое решение производства органического удобрения, обеспечивающее переработку отходов более чем на 50 %.

При оценке эффективности предложенной технологии статического компостирования в буртах были определены основные преимущества:

- ускоренное время созревания компоста 56 дней;
- низкие конструкционные и эксплуатационные расходы;
- бурт защищен от неблагоприятных погодных воздействий;
- технология позволяет компостировать от 1 до 500 000 тонн органических отходов одновременно.

Проведены расчеты материального и теплового балансов предложенного технического решения.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Arias O., Vina S., Soto M. Composting of pig manure and forest green waste amended with industrial sludge // *The science of the total environment*. 2017. № 586. P. 1228-1236. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29562678> (дата обращения: 19.04.2021).
2. Atadjanova M.K. Organic waste processing (composting) // *Internauka*. 2019. № 23-4 (105). P. 18-19. URL: <https://www.elibrary.ru/contents.asp?id=38595983&selid=38595990> (дата обращения: 19.04.2021).
3. Bohacz J. Microbial strategies and biochemical activity during lignocellulosic waste composting in relation to the occurring biothermal phases // *Journal of environmental management*. 2018. № 206. P.1052-1062. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35869892> (дата обращения: 19.04.2021).
4. Palaniswamy U.R., Uddin N., Islam F. Kitchen waste as organic matter for composting in bangladesh // *Acta horticulturae*. 2016. № 1112. P. 349-356. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38755530> (дата обращения: 19.04.2021).
5. Palaniveloo K., Amran M.A., Norhashim N.A. Food waste composting and microbial community structure profiling // *Processes*. 2020. № 8. P. 1-30. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45140961> (дата обращения: 19.04.2021).
6. Бешенцев В.А. Обоснование захоронения промышленных и сточных вод в недра : учебное пособие / В. А. Бешенцев, Т. В. Семенова. — Тюмень :ТюмГНГУ, 2018. — 95 с.
7. Варанкина Г.С. Основы комплексной переработки древесного сырья : учебное пособие / Г. С. Варанкина, А. Н. Чубинский. — Санкт-Петербург :СПбГЛТУ, 2016. — 56 с.

8. Ветошкин А.Г. Технологии защиты окружающей среды от отходов производства и потребления : учебное пособие для спо / А. Г. Ветошкин. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 304 с.
9. Власов О.А. Технологии переработки твердых бытовых отходов : учебное пособие / О. А. Власов. — Красноярск : СФУ, 2019. — 244 с.
10. Власова Т.А. Система удобрений сельскохозяйственных культур : учебное пособие / Т. А. Власова, Н. П. Чекаев. — Пенза : ПГАУ, 2017. — 231 с.
11. ГОСТ 26213–91. Почвы. Методы определения органического вещества / [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200023481> (дата обращения 27.04.2021).
12. ГОСТ 26483-85 Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее рН по методу ЦИНАО / [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200023490> (дата обращения 27.04.2021).
13. ГОСТ 26487–85 Почвы. Определение обменного кальция и обменного (подвижного) магния методами ЦИНАО (с Поправкой) / [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200023494> (дата обращения 27.04.2021).
14. ГОСТ 26570–95 Методы определения кальция / [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200024365> (дата обращения 27.04.2021).
15. ГОСТ 26713–85 Удобрения органические. Метод определения влаги и сухого остатка / [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200019308> (дата обращения 27.04.2021).
16. ГОСТ 26714–85 Удобрения органические. Метод определения золы / [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200019309> (дата обращения 27.04.2021).
17. ГОСТ 26715–85 Удобрения органические. Методы определения общего азота / [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200019311>(дата обращения 27.04.2021).

18. ГОСТ 26717–85 Удобрения органические. Метод определения общего фосфора / [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200019314> (дата обращения 27.04.2021).
19. ГОСТ 26718–85 Удобрения органические. Метод определения общего калия / [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200019315> (дата обращения 27.04.2021).
20. ГОСТ 27894.10–88 Метод определения обменного кальция и обменного магния / [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-27894-10-88> (дата обращения 27.04.2021).
21. ГОСТ 27980–88 Удобрения органические. Методы определения органического вещества / [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200019323> (дата обращения 27.04.2021).
22. ГОСТ 30504–97 Пламенно-фотометрический метод определения содержания калия / [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200024417> (дата обращения 27.04.2021).
23. ГОСТ 305–97 Технические условия (Переиздание) / [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200107826>(дата обращения 27.04.2021).
24. ГОСТ Р 55571-2013 Удобрения органические на основе твердых бытовых отходов - Технические условия / [Электронный ресурс] URL:<https://docs.cntd.ru/document/1200105940>(дата обращения 27.04.2021).
25. ГОСТ Р 56070-2014 Отходы древесные. Технические условия. Введ. 2015-01-01 / [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200111779> (дата обращения 27.04.2021).
26. Друзьянова В.П. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова» Диссертация/ Энергосберегающая технология переработки навоза крупного рогатого скота, Улан – Уде – 2016 г.

27. Есякова О.А. Обращение с отходами : учебное пособие / О. А. Есякова, В. А. Иванов. — Красноярск : СибГУ им. академика М. Ф. Решетнёва, 2018. — 90 с.
28. Заболотских В.В., Гомоницкая А.О., Кутмина С.В. Технологические приёмы улучшения качества компоста, получаемого из органических отходов // Известия Самарского научного центра РАН. 2016. № 5-3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologicheskie-priyomy-uluchsheniya-kachestva-komposta-poluchaemogo-iz-organicheskikh-othodov> (дата обращения: 10.05.2021).
29. Иванкин А.Н., Неклюдов А.Д., Тарасов С.М., Жилин Ю.Н. Переработка органических отходов: учебное пособие. М.: ГОУ ВО МГУЛ, 2016. 400 с.
30. Кислицына С.Н., Шитова И.Ю. Способы переработки отходов деревообрабатывающей промышленности: учеб. пособие. Пенза: ПГУАС, 2016. 140 с.
31. Клевке В.А., Технология азотных удобрений. М., Госхимиздат, 2019 г.
32. Ковалева О.П. Утилизация промышленных отходов : учебное пособие / О. П. Ковалева. — Санкт-Петербург : СПбГЛТУ, 2021. — 68 с.
33. Компостирование органических отходов сельскохозяйственных животных : монография / А. Г. Шестаков, Д. А. Васильев, А. С. Терешкин [и др.]. — Ульяновск : УлГАУ имени П. А. Столыпина, 2018. — 112 с.
34. Кривошеин Д.А. Основы экологической безопасности производств : учебное пособие / Д. А. Кривошеин, В. П. Дмитренко, Н. В. Федотова. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 336 с.
35. Луканин А.В., Васильева Т., д-р технических наук, профессор, Российский университет дружбы народов, г. Москва. / Научная статья. Комплексное компостирование бытовых отходов городского хозяйства – 2019 г.

36. Лукаш А.А. Энергетическое использование древесной биомассы : учебное пособие / А. А. Лукаш. — Санкт-Петербург : Лань, 2020. — 124.
37. Методы определения содержания азота и сырого протеина [Электронный ресурс] : ГОСТ 13496.4–93. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200024323> (дата обращения 27.04.2021).
38. Миронов В.В. Экобиотехнологии переработки органических отходов // Вестник ВНИИМЖ. 2018. № 1 (29). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekobiotehnologii-pererabotki-organicheskikh-otvodov> (дата обращения: 10.05.2021).
39. Морозов В.В. О современных методах переработки и утилизации образующихся отходов на сельхозпредприятиях и животноводческих фермах / В.В. Морозов, З.И. Курбатова // Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. — 2017. — № 2. — С. 19-23.
40. Начало заседания Совета Безопасности по вопросу обеспечения экологической безопасности России. URL: <http://www.kremlin.ru/events/president/transcripts/24807> (дата обращения: 10.05.2021).
41. Основы природопользования и энергоресурсосбережения : учебное пособие для СПО / В. В. Денисов, И. А. Денисова, Т. И. Дрововозова, А. П. Москаленко ; Под редакцией заслуженного деятеля науки и техники РФ [и др.]. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 400 с.
42. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО [Электронный ресурс] : ГОСТ 13496.4–93. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200023451> (дата обращения 27.04.2021).
43. Сергеева В.Н. Перспективы использования древесины в качестве органического сырья. Зинатне, Рига, 2017. 105 с.
44. Способ получения азотсодержащих органических удобрений на основе лигноуглеводных материалов. URL: <https://findpatent.ru/patent/231/2318783.html> (дата обращения: 10.05.2021).

45. Способ получения жидкого удобрения. URL: https://patents.s3.yandex.net/RU2691693C1_20190617.pdf (дата обращения: 10.05.2021).

46. Способ получения органических удобрений из древесной коры. URL: <https://findpatent.ru/patent/224/2249583.html> (дата обращения: 10.05.2021).

47. Способ получения органического удобрения из биоразлагаемых отходов. URL: https://patents.s3.yandex.net/RU2556042C1_20150710.pdf (дата обращения: 10.05.2021).

48. Способ получения органоминеральных удобрений. URL: <https://findpatent.ru/patent/218/2185353.html> (дата обращения: 10.05.2021).

49. Справочник химика. Химия и химическая технология / Экологическая биотехнология [Электронный ресурс] URL: <https://www.chem21.info/18019222003242> (дата обращения: 10.05.2021).

50. Суслов Д.Ю., Темников Д.О. Тепловой баланс биореактора с барботажным перемешиванием биомассы / Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2015 №1. С. 182-185.

51. Технология переработки органических отходов / Статья – 2019 г. [Электронный ресурс] URL: www.kompostanlagen.de (дата обращения: 10.05.2021).

52. Указ Президента РФ от 4 июня 2008 г. № 889 «О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики». URL: <https://base.garant.ru/193388> (дата обращения: 10.05.2021).

53. Управление техногенными отходами : учебное пособие / В. Н. Коротаев, Н. Н. Слюсарь, Я. А. Жилинская [и др.]. — Пермь : ПНИПУ, 2016. — 390 с.

54. Утилизация отходов производства : методические указания / Ю. Ф. Абакумов, Е. Д. Демьянов, С. С. Зуйков [и др.]. — 2-е изд. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. — 110 с.

55. Фазы разложения компоста / Статья – 2016. [Электронный ресурс] URL: <https://www.ncsemena.ru/article/fazy-razlozheniya-komposta/> (дата обращения: 10.05.2021).

56. Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» от 24.06.1998 № 89-ФЗ (последняя редакция). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109 (дата обращения: 10.05.2021).

57. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 № 7-ФЗ (последняя редакция). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ (дата обращения: 10.05.2021).

Приложение А

Требования к показателям компоста (удобрения) в соответствии с ГОСТ 55571-2013

Таблица А.1 – Требования к показателям компоста (удобрения) в соответствии с ГОСТ 55571-2013

| Наименование показателя | Норма |
|--|---------------------|
| Массовая доля примесей токсичных элементов (валовое содержание), в том числе отдельных элементов, мг/кг сухого вещества, не более: | |
| - свинец | 200,0 |
| - кадмий | 5,0 |
| - цинк | 500,0 |
| - медь | 300,0 |
| - никель | 100,0 |
| - хром | 300,0 |
| - ртуть | 10,0 |
| - мышьяк | 0,02 |
| Удельная эффективная активность природных радионуклидов, Бк/кг сухого вещества, не более | 300,0 |
| Удельная эффективная активность техногенных радионуклидов (ACs/45 + ASr/30), не более | 1 относительная, ед |
| Массовая концентрация остаточных количеств пестицидов в сухом веществе, мг/кг сухого вещества, не более: ГХГЦ (сумма изомеров) | 0,1 |
| ДДТ и его метаболиты (суммарные количества) | 0,1 |
| Индекс санитарно-показательных микроорганизмов, кл./г: | |
| - колиформы | 1-9 |
| - энтеробактерии | 1-9 |
| Наличие патогенных и болезнетворных микроорганизмов, в том числе энтеробактерии (патогенных серовариантов, кишечной палочки, сальмонелл, протеи), энтерококков (стафилококков, клостридий, бацилл), энтеровирусов, кл./г | Не допускается |

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1

| | |
|--|----------------|
| Наличие жизнеспособных яиц и личинок гельминтов, в том числе нематод (аскаридат, трихо-цефалов, стронгилят, стронгилоидов), трематод, цестод | Не допускается |
| Цисты кишечных патогенных простейших | Не допускается |
| По физико-механическим и агрохимическим показателям удобрения должны соответствовать нормам: | |
| Размер частиц удобрения, мм, не более | 25,0 |
| Содержание балластных, инородных механических включений, % от массы удобрения нормативной влажности, не более, в т.ч. содержание частиц стекла размером: | |
| - от 3 до 5 мм, не более | 1,5 |
| - от 5 до 10 мм, не более | 0,2 |
| - более 10 мм | Не допускается |
| содержание полимерных материалов, не более | 0,8 |
| содержание прочих балластных включений, не более | 2,5 |
| Массовая доля влаги, %, не более | 50,0 |
| Массовая доля органического вещества на сухой продукт, %, не менее | 45,0 |
| Показатель активности водородных ионов солевой суспензии, ед. рН | 6,0-8,0 |
| Массовая доля питательных элементов в удобрениях с исходной влажностью, %, не менее: | |
| - азота общего | 0,5 |
| - фосфора общего, в пересчете на P ₂ O ₅ | 0,4 |
| - калия общего, в пересчете на K ₂ O | 0,3 |

Продолжение Приложения А

Таблица А.2 – Требования к показателям компоста (почвогрунта ОМПГ) в соответствии с ТУ 20.15.80-002-70412224-2017

| Показатели | Характеристика материала | Нормативные документы на методы контроля |
|-------------------------------------|---|--|
| Внешний вид | Рыхлая масса от светло-коричневого до светло-желтого цвета, а также неплотная, полностью однородная структура, имеющая земляной запах. | «Методические рекомендации по приготовлению и использованию почвогрунтов с заданными свойствами на основе котлованных грунтов и биокомпостов для целей озеленения». СанПиН 2.1.7.1287-03 с изменениями «Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы». |
| Влажность | Массовая доля влаги - не более 50%. | |
| Содержание органических веществ | Массовая доля органических веществ - не менее 25% | |
| Показатель рН | Показатель рН солевой вытяжки - 6,0- 8,0 | |
| Содержание механических примесей | Содержание древесной щепы - не более 20% (по массе) | |
| Содержание нитроцеллюлозы | Остаточное содержание нитроцеллюлозы - не более 5% | |
| Содержание элементов питания | в мг/кг: азот ($\text{NO}_3 + \text{NH}_4$) 50-200 фосфор (P_2O_5) 100-200 калия (K_2O) 100-200 | |
| Валовое содержание тяжелых металлов | в мг/кг не более: Cu 300 Zn 1500 Co 25 Содержание примесей токсичных элементов: Cd 5 Pb 500 Cr 300 Ni 100 As 10 Hg 10 | |

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.2

| Показатели | Характеристика материала | Нормативные документы на методы контроля |
|--|---|---|
| Микробиологические и санитарно-паразитологические показатели | Бактерии группы кишечной палочки - 10 клеток/г Энтерококки -10 клеток/г продукта Патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы, клеток/г продукта – отсутствие. Яйца гельминтов, экз./кг продукта – отсутствие. | МУ 2.1.7.730-99. МУК 4.2.796-99. ГОСТ 17.4.1.02-83. |

Приложение Б
Постоянные величины разных источников

Таблица 8 – Постоянные величины разных источников

| А | m | n | o | P | Область применения | По данным |
|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------|--------------------------------|
| 0,65 | 0,0 | 0,25 | 0,25 | 0,0 | Свободная конвекция | Гусева |
| 0,065 | 0,0 | 0,248 | 0,248 | 0,0 | Свободная конвекция | Нестеренко |
| 1,26 | 0,435 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | Re = 300 | Гусева, Михайлова, Лурье и др. |
| 0,60 | 0,560 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 1000 | |
| 0,52 | 0,58 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 3000 | |
| 0,38 | 0,62 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 10 000 | |
| 0,21 | 0,68 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 30 000 | |
| 0,82 | 0,78 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 100 000 | |
| 0,87 | 0,54 | 0,0 | 0,33 | 0,135 | 200-6000 | |
| 0,347 | 0,65 | 0,0 | 0,33 | 0,135 | 6000-70 000 | |