

На правах рукописи

ЕРИНА ТАТЬЯНА ЭДУАРДОВНА

**Разработка ферментера для переработки
жидких отходов животноводства в удобрение
и алгоритм его инженерного расчета**

Специальность: 03.00.23 - Биотехнология

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Москва 2006г.

Работа выполнена в лаборатории «Технологии промышленного биосинтеза» ФГУП ГосНИИсинтезбелок и на кафедре «Экологической и промышленной биотехнологии» Московского Государственного университета инженерной экологии.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ:

Доктор технических наук,
профессор
Винаров Александр Юрьевич

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ:

Доктор биологических наук
профессор **Акопян В.Б.**

Доктор технических наук
профессор **Панфилов В.И.**

ВЕДУЩАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ:

**Московский Государственный
Университет прикладной
биотехнологии**

Защита диссертации состоится «14» марта 2006г. на заседании
диссертационного совета ДМ 212.204.13 в РХТУ им.Д.И. Менделеева
(125047, г. Москва, Миусская пл., д.9) в ауд.443 в 12³⁰

С диссертацией можно ознакомиться Информационно-библиотечном центре
РХТУ имени Д.И. Менделеева.

Автореферат диссертации разослан «31» января 2006г.

Ученый секретарь

диссертационного совета ДМ 212.204.13

кандидат технических наук

И. В. Шакир

И. В. Шакир

2006А
2939

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

В стране ежегодное накопление органических отходов в животноводстве и птицеводстве, основную массу из которых представляют продукты жизнедеятельности, т.е. навоз животных и помет птиц, составляет около 200 млн. т. Согласно данным объем питательных веществ, содержащихся во всех животноводческих стоках, эквивалентен 2,2 млн. т азота, 1 млн. т фосфора и 2 млн. т калия. Для сравнения можно указать, что это в 4 раза превышает количество загрязнений от сточных вод пищевой промышленности и хозяйственно-бытовых стоков объемом 14,8 млн. м³ в год. Таким образом, известный вывод, что животноводческие комплексы являются даже более опасными для окружающей среды, чем крупные промышленные предприятия, очевиден.

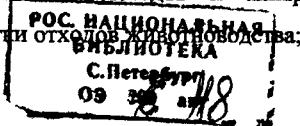
В связи с разнообразием территориальных, климатических, почвенных и других специфических условий и особенностей строительства животноводческих комплексов в России проблема утилизации отходов в настоящее время до конца не решена. Сложность реализации инженерно-технических задач удаления, транспортирования и обработки животноводческих отходов выдвинули проблему создания эффективных способов полезной утилизации навоза и помета и задачу их аппаратного оформления, способных обеспечить охрану окружающей среды. Известные методы, используемые для обработки навоза и помета и их очистки, разделяются на механические, физико-химические, биологические и комбинированные. Наиболее эффективными считаются методы, связанные с биологической переработкой навоза и помета. В этой связи разработка новых технических решений для реализации биотехнологических процессов является актуальной и важной научно-технической задачей.

Цель и задачи исследования.

Целью наших исследований являлась разработка нового аппарата для аэробной ферментационной переработки отходов животноводства с последующим получением органоминерального удобрения.

Для реализации поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- провести анализ и систематизацию известных методов и аппаратов, используемых при биотехнологической переработке отходов животноводства;



- провести экспериментальное исследование процесса аэробной ферментации навозных стоков и определить кинетические параметры процесса;
- разработать лабораторную модель аэробного ферментера объемом 100л для ферментационной переработки жидкофазных (гидросмыв) отходов;
- исследовать массообменные, гидравлические и энергетические характеристики лабораторной модели ферментера предложенной конструкции;
- разработать метод и алгоритм инженерного расчета технологических и конструктивных параметров нового ферментера для переработки жидких навозных отходов и провести расчет опытно-промышленного аппарата объемом 10 м³;
- провести разработку конструкторской документации для изготовления опытно-промышленного ферментера объемом 10 м³ и ее согласование с изготовителем;
- создать опытно-промышленный образец аэробного ферментера для ферментационной переработки жидкофазных отходов животноводческих и птицеводческих комплексов и провести его модельные испытания;
- разработать технолого-аппаратурную схему производства биоорганических удобрений с использованием аэробного ферментера для переработки жидких навозных отходов и оценить экономическую эффективность производства.

Научная новизна:

На основе научно-технического анализа известных аппаратурных решений по переработке навозных стоков осуществлена их систематизация и сформулированы технологические требования к новому интенсивному аппаратурному оформлению процесса аэробной переработке отходов.

В результате выполненных экспериментальных и теоретических исследований разработан новый аппарат, реализующий аэробный процесс ферментации навозных стоков как в периодическом, так и в непрерывном режимах при минимальных энергозатратах.

Проведено определение кинетических характеристик процесса с применением рекомендованного штамма *Endomycopsis fibuligera* ВСБ-12 и определена рациональная длительность аэробной ферментации с оценкой эффективности проферментированного навоза в вегетационных опытах.

Изучены массообменные и энергетические характеристики предложенного аппарата на лабораторной модели ферментера объемом 100л. Установлено, что в ферментере обеспечивается высокая кратность циркуляции и требуемый уровень

аэрации $0,7 \text{ м}^3/\text{м}^3\text{миг}$. При этом, за счет нового оригинального технического решения по взаимодействию газо-жидкостных потоков достигается скорость массопередачи кислорода до $2-4 \text{ кгO}_2/\text{м}^3 \text{ час}$ при минимальных энергозатратах;

Разработана методика инженерного расчета ферментера и принцип его масштабирования, рекомендованный для создания промышленных образцов новых ферментеров. Предложен алгоритм расчета и проведен расчет технологических и конструктивных характеристик аппарата объемом 10 м^3 .

В результате проведенных модельных испытаний созданного ферментера объемом 10 м^3 , подтвердивших эффективность его работы, в частности, установлено, что затраты электроэнергии составляют 30 кВтч для аэробной переработки 1 т навозных стоков.

Предложена новая экологически эффективная технолого-аппаратурная схема переработки жидкофазных навозных отходов в биоорганическое удобрение с применением аэробного ферментера на основе разработанного ферментера.

Практическая ценность работы.

Разработана и экспериментально проверена конструкция нового аппарата для аэробной ферментационной переработки жидких отходов животноводства с последующим получением биоорганических удобрений.

В вегетационных опытах с различными с/х растениями подтверждена эффективность применения проферментированного в аэробных условиях навозных стоков в качестве биоорганических удобрений.

Разработаны практически реализуемые режимы ферментации с применением рекомендованного штамма *Endomycopsis fibuligera* ВСБ-12, обеспечивающие за 3 суток переработку навозных стоков для их применения в качестве удобрений.

Предложен алгоритм и метод инженерного расчета и на его основе проведено проектирование опытно-промышленного аппарата объемом 10 м^3 . Проработана конструкция и разработан комплект технической документации для изготовления опытно-промышленного биореактора объемом 10 м^3 , которая была согласована и передана для изготовления организации ООО «Биопоток».

Проведены гидравлические испытания опытно-промышленного ферментера объемом 10 м^3 , подтвердившие эффективность разработанного ферментера, низкие удельные энергозатраты, что позволило включить его в состав действующего производства биокомпостов из навоза КРС.

Предложена технологическая схема по переработке жидкофазных отходов животноводства в удобрение с использованием разработанного аппарата в составе агрокомплекса «Медынь». В результате переработки получается удобрение, которое соответствует техническим условиям и санитарным нормам, предъявляемым к органоминеральному удобрению.

Предложенные в работе технологические и аппаратурные решения представлены в проекты получения удобрения для переработки жидких навозных отходов, при этом показано, что окупаемость установки составит 1,3 года.

Разработанные новые и практически значимые технические и технологические решения защищены 4 патентами РФ.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы доложены на международной научной конференции «Биотехнология на рубеже двух тысячелетий» 2001г., 1-м международном конгрессе «Биотехнология - состояние и перспективы развития» 2002г., I -й международной конференции «Дождьвые черви и плодородие почв» 2002г., 7-й Пушкинской школе-конференции молодых ученых «Биология – наука XXI века» 2003 г., 3-м международном конгрессе по управлению отходами 2003г., 2-м международном конгрессе «Биотехнология - состояние и перспективы развития» 2003г., 3-м московском международном конгрессе «Биотехнология – состояние и перспективы развития» 2005г.

Публикации. Основные положения и результаты диссертационной работы изложены в 12 печатных работах, в т.ч. 1 книге и 4 патентах РФ.

Структура и объем работы. Диссертация представлена на стр. машинописного текста, содержит: введение, выводы, 6 глав, 32 рисунка, 20 таблиц, 2 приложения. Список цитируемой литературы содержит 109 источников.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ВВЕДЕНИЕ работы посвящено обоснованию актуальности проблемы, формулированию цели и задач настоящего исследования, его научной и практической значимости. Показано, что решение поставленной научно-технической проблемы имеет важное экологическое значение и позволяет реализовывать процесс переработки навозных отходов с определенным экономическим эффектом.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Отходы животноводческих комплексов, содержат органические и неорганические вещества, остатки пищеварительных соков, отмершие клетки, бактерии и крупные частицы нерастворимых веществ, проглоченных вместе с кормом. Химические и микробиологические характеристики отходов животных во многом зависят от усвояемости и состава кормового рациона и содержат в зависимости от вида животных такие компоненты, как белок (18-30%), жир (2-5%), клетчатку (14-25%), БЭВ (26-40%), и золу (13-26%).

Биотехнологические процессы для переработки жидких отходов можно разделить на три группы по признаку используемых микроорганизмов: анаэробные, аэробные и комбинированные. Проведено сравнение анаэробных и аэробных способов переработки жидких отходов и показано, что анаэробный процесс переработки отходов характеризуется большей длительностью, дополнительными затратами энергии на предварительный нагрев и выделением взрывоопасного метана, который используют в качестве топлива на фермах. По данным литературы, производство по анаэробной переработке навозных отходов наиболее рентабельно при содержании сухих веществ более 15-20%, т.е. для подстилочного содержания, а срок окупаемости производства составляет 4-5 лет.

В патентной литературе описаны методы аэробной переработки жидких отходов (гидросмыва) с использованием активного ила. При этом жидкофазную ферментационную обработку навозосодержащих сточных вод проводят при нагрузке на активный ил от 70 до 225 мг ХПК/ч при низких скоростях порядка 0,01 ч⁻¹ до снижения нагрузки по ХПК на 40-70% с рециркуляцией активного ила разделением жидкой и твердой фаз с уплотнением и последующей сушкой твердой фазы. Однако, отсутствие устойчивых штаммов-микроорганизмов и рациональных технических решений по конструкции интенсивного ферментера с низкими энергозатратами для переработки жидких отходов с содержанием до 15% сухих веществ аэробным способом сдерживало реализацию этого альтернативного метода. Причем, согласно расчетам на стадии аэробной ферментации будет затрачиваться не более 0,25-0,35 кВт*ч/кг готового продукта.

Таким образом, актуальной целью наших исследований было разработать метод инженерного расчета и конструкцию аэробного жидкофазного ферментера с низкими удельными энергозатратами для переработки навозных стоков и

последующего получения экологически чистого удобрения по экологически безопасной технологической схеме.

Для переработки отходов птицеводческих и животноводческих комплексов использовались различные технические устройства и аппараты. В работе проанализированы и дана систематизация различных конструкций аппаратов по переработке отходов животноводства на основе отечественных и зарубежных изобретений и произведена их сравнительная оценка. Аппараты по составу жидкой фазы отходов можно классифицировать на аппараты по переработке жидких и густых отходов. По конструктивным признакам аппараты классифицируются на емкости, установки с транспортерными лентами и аппараты барабанного типа. Характеристика данных видов ферментеров приведена в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики ферментеров разных типов.

Тип ферментера	Характеристика	Примечание
Емкость	Аппарат имеет вид контейнера с периодической аэрацией подогретым увлажненным воздухом, с перемешивающими устройствами.	Емкости используют для переработки смеси навоз-опилки-торф.
Установка с транспортерными лентами	Аппарат имеет вид вертикального контейнера с транспортными лентами внутри с подачей воздуха под ленты	Емкости используют для переработки отходов с высоким содержанием твердых веществ.
Барабан	Полое тело в виде закрытой полый призмы, вращающейся вокруг своей оси с принудительной аэрацией.	Емкости используют для получения компостов с 30-50% содержанием сухих веществ..

Вышеуказанные типы аппаратов используются преимущественно для переработки отходов с высоким содержанием твердых веществ. Анализ патентной и научной литературы показал, что практически отсутствуют эффективные аппараты для переработки жидких навозных стоков с содержанием сухих веществ от 2 до 15%.

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ

Исследования проводились в лаборатории «Технологии промышленного биосинтеза» ФГУП ГосНИИсинтезбелка и на кафедре «Экологической и промышленной биотехнологии» Московского Государственного университета инженерной экологии.

В лаборатории «Технологии промышленного биосинтеза» был предложен способ аэробной жидкофазной ферментации навозных стоков в условиях

перемешивания ферментационной среды, обеспечивающей скорость массопередачи кислорода воздуха в среднем $2,0 \text{ кгO}_2 / \text{м}^3 \cdot \text{ч}$ при содержании твердой фазы в навозном стоке от 2,0 до 14 мас.%. (патент РФ. – авт. Винаров А.Ю., Смирнов В. Н., Ерина Т.Э. и др.). В качестве основного штамма применяли *Endomycopsis fibuligera* ВСБ-12 (патент РФ.-авт.Винаров А.Ю.,Борисенко Е.Г и др.)

Проведенные экспериментально лабораторные исследования по аэробной ферментационной переработке навозных стоков, содержащих 10% сухих веществ, позволили установить рациональное время аэробной ферментации и определить кинетические параметры процесса. Динамику процесса контролировали по изменению содержания аминокислот, характеризующих накопление биомассы за счет потребления культурой органического субстрата. Ферментацию проводили в 750 мл колбах на качалках при $t=30^\circ\text{C}$, $n=220\text{об/мин}$. В отбираемых через каждые 5 часов пробах определяли содержание аминокислот на AMINOACID ANALYZER T-339. Для описания кинетики процесса использовали модель Иерусалимского, связывающую удельную скорость роста с концентрацией продуктов метаболизма клеток. На графике Рис. 1 приведены данные эксперимента по изменению содержания аминокислот в отбираемых через определенные промежутки времени образцах ферментированного навоза и расчетная кривая по модели с установленными значениями кинетических коэффициентов $\mu_m = 0,18 \text{ час}^{-1}$, $K_p = 0,08 \text{ г/л}$. Отклонение экспериментальных данных от расчетной по модели кривой составило 11%.

Параллельно с анализом на аминокислотном анализаторе, отбираемые через 10 часов пробы исследовали с точки зрения эффективности применения проферментированного навоза в качестве удобрения. Опыты проводили в вегетационной камере (лабораторный фитотрон) на салате, используя смесь садовой земли и песка, куда добавляли проферментированный различное время навоз из расчета 100 г/м^2 . Как видно из Рис.2, достоверное увеличение веса зеленой части растений характерно для проб после 60 и 70 часа ферментации.

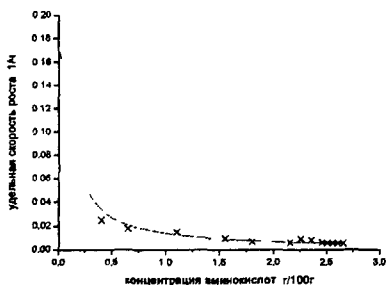


Рис. 1 Данные эксперимента по изменению содержания аминокислот и расчетная кривая по модели Иерусалимского.

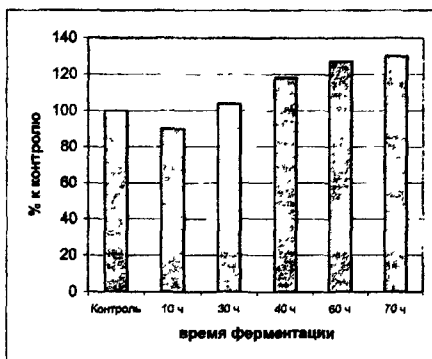


Рис. 2. Прибавка зеленой массы салата при выращивании растений с применением удобрений различной степени обработки.

Расчет по модели на основании экспериментальных данных и результаты вегетативных опытов позволили рекомендовать рациональное время аэробной ферментации $\tau_{\text{ферм}} = 75$ часов.

ИСПЫТАНИЕ ЛБОРАТОРНОЙ МОДЕЛИ ФЕРМЕНТЕРА ОБЪЕМОМ 100Л

Для реализации описанного выше способа аэробной жидкофазной переработки была разработана установка, содержащая новый ферментер предложенной конструкции (патент РФ-авт.Винаров А.Ю., Соколов Д.П., Ерина Т.Э.и др.). Схема лабораторной модели ферментера объемом 100л приведена на рисунке 3.

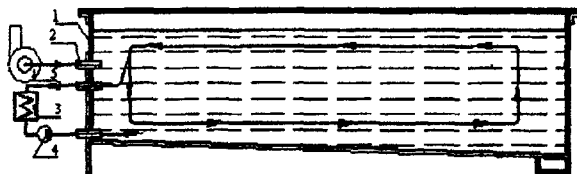


Рис. 3. Лабораторный ферментер.

1-аэробный ферментер; 2-штуцер; 3-калорифер; 4-циркуляционный насос; 5-вентилятор.

Ферментер работает следующим образом. Навозные стоки со средней влажностью 90-95% через штуцер подачи поступают в ферментер 1 до уровня переливного штуцера, заполняя 85% объема аппарата. После заполнения аппарата

1 и внесения необходимого количества минерального питания включается циркуляционный насос 4 и калорифер 3.

Из циркуляционного штуцера аппарата 1 навозные стоки отбираются циркуляционным насосом 4 и через калорифер 3 подаются снова в ферментер через эжектор и устройство для смыва осадка.

После установления в ферментере 1 заданной температуры в аппарат вносится засевная культура микроорганизмов *Endomycopsis fibuligera* ВСБ-12 и включается вентилятор 5. Внутри ферментера 1 жидкость стекает по тарелке, на которой укреплен барботёр, аэрируется воздухом и поступает снова через циркуляционный штуцер на насос 4. Воздух в барботёр подается вентилятором 5. Отработанный воздух выводится через штуцер при помощи отсасывающего вентилятора. Через $t_{\text{ферм.}}=75$ часов переработанные навозные стоки выводятся из аппарата на дальнейшую обработку по схеме для получения биоорганического удобрения. Ферментер может работать и в непрерывном процессе с постоянной подачей и отбором расчетного количества среды на последующую обработку.

Для изучения энергетических характеристик работы ферментера и выбора оптимальных параметров по нагрузке газовой и жидкой фаз проведен анализ показателей работы экспериментальной установки на модельной среде. Графики этих зависимостей $M_{O_2}=f(Q_v)$ и $M_N=f(Q_v)$ представлены на рисунке 4.

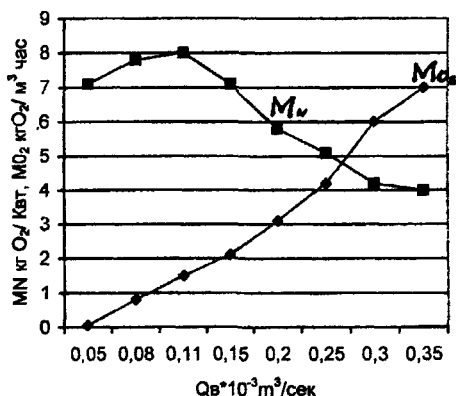


Рис. 4. Зависимость скорости массопередачи кислорода M_{O_2} и скорости передачи кислорода на единицу вкладываемой мощности M_N от объемной скорости эжектируемого воздуха Q_v .

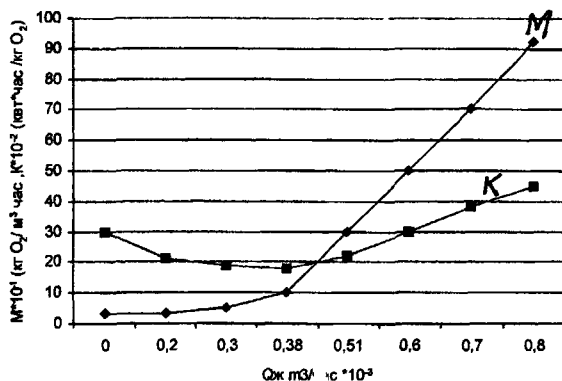


Рис. 5. Зависимость удельных затрат энергии на абсорбцию кислорода (K), скорости абсорбции кислорода (M) от расхода среды на циркуляцию $Q_{ж}$

Как следует из рисунка 4, оптимальное значение по нагрузке газовой фазы находится в пределах объемной скорости воздуха от 0.25 до 0.35 м³/сек * 10⁻³. Так как $Q_v = f(Q_{ж})$, то это соответствует расходу среды на циркуляцию в пределах 0.55-0.65 м³/сек * 10⁻³, что подтверждается графиком на рисунке 5. Дальнейшее же увеличение объемной скорости газа нецелесообразно из-за значительного роста удельных энергозатрат и незначительного увеличения M_{O_2} .

АЛГОРИТМ И МЕТОДИКА ИНЖЕНЕРНОГО РАСЧЕТА ФЕРМЕНТЕРА

Общая методика инженерного расчета аэробного ферментера включает следующие этапы, приведенные на Рис. 6.

Задача оптимального расчета ферментера сводится к выбору режимных, конструктивных и энергетических параметров аппарата, обеспечивающих для заданной производительности минимум глобального критерия $\Phi_{эф}$. в виде достаточно общего критерия оптимальности, являющегося технико-экономическим показателем процесса в ферментере:

$$\Phi_{эф} = \Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 \rightarrow \min, \quad (1)$$

где $\Phi_{эф}$ - аддитивный критерий эффективности, Φ_1 - критерий, учитывающий затраты, связанные с расходом субстрата и минеральных элементов питания клеток; Φ_2 - критерий, учитывающий затраты, связанные с вводимой в ферментер внешней энергией; Φ_3 - критерий, учитывающий капитальные затраты на изготовление ферментера.

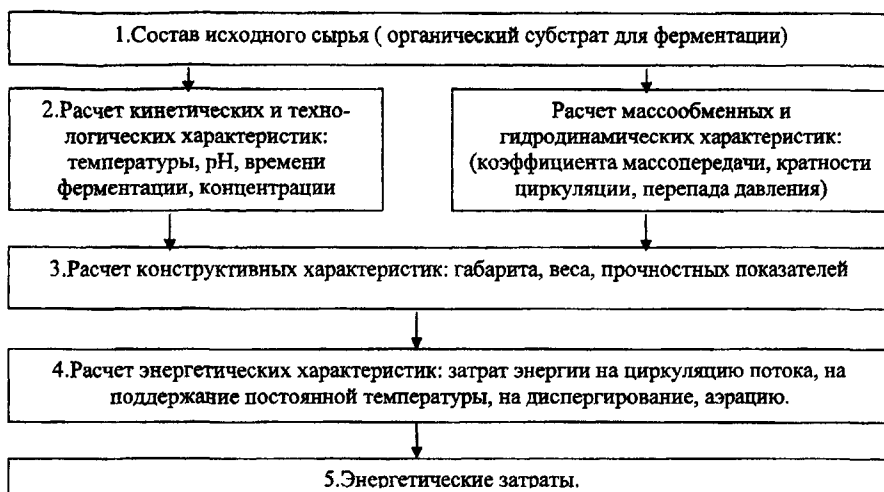


Рис. 6. Структурная схема и этапы расчета аэробного ферментера.

Выражение для глобального критерия оптимальности можно записать в виде:

$$\Phi_{\Sigma} = \sum_{j=1}^n \alpha' l_j + \frac{N_r N_{ж}}{Vx / \tau} \mathcal{E} + E \frac{K}{Vx / \tau} \rightarrow \min, \quad (2)$$

где α' - удельный расход на единицу биомассы j -го компонента питания; l_j - стоимость j -го компонента питания; N_r , $N_{ж}$ - вкладываемая на аэрацию и перемешивание энергия; \mathcal{E} - стоимость электроэнергии; E - коэффициент окупаемости; K - капитальные затраты; V - рабочий объем ферментера; x - концентрация микроорганизмов на выходе ферментера; τ - время ферментации.

Время ферментации, определяющее глубину утилизации субстрата микроорганизмами или прирост биомассы,

$$\tau = (S_0 - S) / \alpha_s \mu x; \quad \tau = (x - x_0) / \mu x \quad (3)$$

Энергозатраты на аэрацию среды, циркуляцию и перемешивание жидкости

$$N_r = Q_r \frac{n}{n-1} RT \left[(P_{\text{вых}} / P_{\text{вх}})^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \quad (4)$$

$$N_{ж} = Q_{ж} \rho_{ж} g H. \quad (5)$$

Связь величин N_r и $N_{ж}$ с технологическими параметрами устанавливается через расход аэрирующего газа и условия перемешивания жидкости в ферментере, обеспечивающие заданный режим ферментации.

Критерий Φ_2 имеет вид:

$$\Phi_2 = ((N_r + N_m) / (VX/E)) * \Theta, \quad (6)$$

где Θ -стоимость 1кВт*ч электроэнергии.

Капитальные затраты определяются с учетом геометрических характеристик, массы аппарата, сложности изготовления и материала и в качестве частного критерия Φ_3 было принято выражение:

$$\Phi_3 = E * (K / (VX/\tau)) \quad (7)$$

где E - нормативный коэффициент окупаемости, принято $E \approx 0,15$; K - капитальные затраты.

Общая схема оптимального расчета ферментера реализуется на основе разработанного алгоритма, включающего следующую последовательность вычислений согласно приведенной блок - схеме (Рис. 7):

- расчет общего модуля математической модели на основании исходных данных (блок 1) и заданной производительности (блок 2) с использованием первоначального приближения по параметрам (блок 3);
- расчет массообменных характеристик (блок 6) обеспечивало определение коэффициента массопередачи кислорода, движущей силы процесса, общего количества кислорода, переданного из газовой фазы;
- расчет основных конструктивных характеристик ферментера (рабочего объема, газосодержания, массы аппарата с учетом ограничений $N < N_{\text{доп}}$; $D_{\text{ап}} < D_{\text{доп}}$)
- расчет гидродинамических показателей (расхода и скорости газовой фазы, расхода жидкости, величины обратного, или рециркуляционного, потока) (блок 8);

1. Производительность эжектора в циркуляционном контуре, которая

обеспечивает время пребывания жидкости равное τ_2 : $Q_2 = V_2 / 3600 * \tau_2$,

2. Производительность циркуляционного насоса : $Q_1 = Q_2 / k$,

3.Время насыщения кислородом воздуха потока жидкости на тарелке : $\tau_1 = C / M_1$,

4. Время потребления растворенного кислорода в объеме аппарата : $\tau_2 = C / M_2$,

5. Объем жидкости на тарелке : $V_1 = B * L * h$

6. Время пребывания жидкости на тарелке : $\tau_1^* = V_1 / Q_2$

7.Скорость течения жидкости на тарелке : $W_m = Q_2 / B * h$

- расчет энергетических характеристик, затрат на аэрацию и циркуляцию жидкой фазы с учетом давления, газосодержания в аппарате (блок 9)

1. Затраты энергии на циркуляцию потока :

$$N_{\text{ц}} = Q_1 \cdot \Delta p$$

2. Затраты энергии на барботажа составят :

$$N_{\text{к}} = Q_{\text{в}} \cdot \Delta p_{\text{в}}$$

3. Затраты тепловой энергии на подогрев среды в теплообменнике определяется из соотношения

$$N_{\text{т}} = k \cdot [Q_{\text{в}} \cdot r \cdot \Delta x + G_{\text{ст.}} \cdot c_{\text{ст.}} \cdot (t_{\text{вых.}} - t_{\text{вх.}})]$$

- далее осуществляется расчет частных критериев оптимальности Φ_1 (блок 10), Φ_2 (блок 11), Φ_3 (блок 12), формирующих глобальный критерий Φ (блок 13).

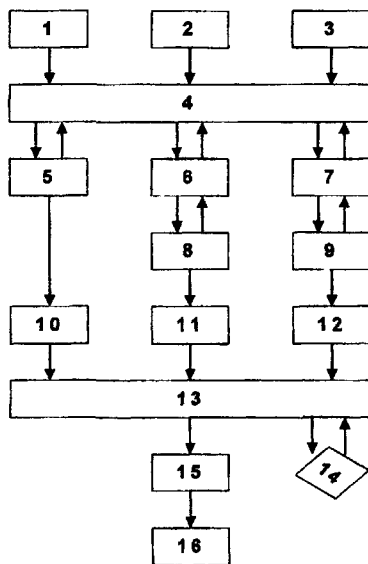


Рис.7 Блок-схема расчета ферментера

1-блок исходных данных (кинетические, стехиометрические, физико-химические); 2-блок задания производительности; 3-блок формирования приближений по параметрам модели; 4-блок расчета системы уравнений математической модели процесса; 5-блок расчета технологических параметров; 6-блок расчета массообменных параметров; 7-блок расчета конструктивных параметров; 8-блок расчета гидродинамических параметров; 9-блок расчета энергетических характеристик; 10, 11, 12-блоки расчета частных критериев оптимальности; 13-блок расчета глобального критерия; 14-блок сопоставления расчетных параметров и ограничений; 15-блок вариантов расчета; 16-блок вывода оптимальных параметров работы ферментера.

Критерием масштабного перехода с лабораторного аппарата на промышленный аппарат объемом 10м^3 был выбран коэффициент массопередачи. Был проведен инженерный расчет ферментера с рабочим объемом 10м^3 . Технические характеристики аппарата даны в таблице 2.

Таблица 2

Технические характеристики разработанного ферментера

Наименование показателя	Размерность	Величина
1. Геометрический объем аппарата	м ³	15,0
2. Рабочий объем ферментера	м ³	10,0
3. Циркуляционный поток	м ³ /час	40
4. Расход воздуха на аэрацию	м ³ /час	300
5. Время циркуляции жидкости	мин	~10
6. Средняя скорость массопередачи O ₂	кг/м ³ час	1,5
7. Расчетное время ферментации	час	75,0
8. Температура среды в ферментере	оС	32-35
9. Концентрация сух.в-в в среде	%	5-15
10. Количество получаемого проферментированного навоза/помета	т (м ³)	10,0
11. Суммарная потребляемая мощность	кВт/ч	4,0
12. Удельные энергозатраты на 1т (1м ³) проферментированных отходов	кВтч/т	~30

Для изготовления опытно-промышленного ферментера разработан комплект конструкторской документации, включающий чертежи и техническое описание аппарата. Указанные материалы были согласованы и приняты изготовителем и заказчиком ферментера - фирмой ООО «Биопоток» для использования в составе производства биокomпостов на агрокомплексе «Медынь». Опытно-промышленный ферментер представляет собой параллелепипед с размерами: ширина 1,8 м длина 4,0м, высота 2,2м. Геометрический объем аппарата-15 м³. Рабочий объем аппарата-10м³. На Рис. 8 приведен один из видов- боковой разрез ферментера.

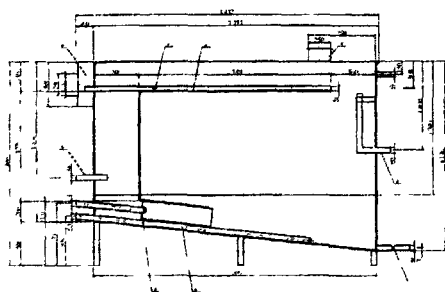


Рис. 8. Боковой разрез ферментера 10м³

Аппарат предназначен для проведения аэробных микробиологических процессов в жидких средах, содержащих до 15% твердых взвешенных частиц, с использованием подобранной ассоциации микроорганизмов. Средняя расчетная скорость массопередачи кислорода в ферментере: $M_{ср} = 1,5 \text{ кгO}_2 / \text{м}^3 \text{ час}$. Затраты

При времени ферментации $T_{\text{ферм.}}=75$ час., удельные энергозатраты на 1 т (м^3) проферментированного продукта составят: $N_{\text{уд}}=4,0 \text{ кВт} \times 75 \text{ час} / 10 \text{ м}^3 = 30,0 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{т}$.

заданной температуры вносится засевная культура микроорганизмов и включается вентилятор. Внутри ферментера жидкость стекает по тарелке, на которой укреплен барботёр, аэрируется воздухом и поступает снова через циркуляционный штуцер на насос. Воздух в барботёр подается вентилятором из производственного помещения. Отработанный воздух выводится через штуцер при помощи отсасывающего вентилятора в биофильтр. Через 75 часов переработанные навозные стоки выводятся из аппарата на дальнейшую обработку по схеме для получения биоорганического удобрения с тепловой или химической стерилизацией получаемого биоорганического удобрения.

При непрерывном режиме ферментации жидкие навозные стоки из сборника насосом подаются в штуцер подачи стоков. Таймер, через который подключается насос, обеспечивает подачу стоков в среднем $0.1\text{ м}^3/\text{ч}$. На Рис. 10 приведена фотография изготовленного и смонтированного опытно-промышленного ферментера на агрокомплексе «Медынь».



В работе представлены результаты оценки и агроэкологической ценности продукта аэробной ферментации и получаемого готового биоорганического удобрения.

Рис.10 Опытно-промышленный ферментер
на заводе по производству компостов.

Было установлено, что полученное удобрение – биокомпост 50% влажности соответствует техническим условиям и санитарным нормам, предъявляемым к органоминеральному удобрению.

Экономическая эффективность использования разработанного опытно-промышленного ферментера объемом 10 м^3 по предложенной технологической схеме, согласно расчетам составляет 0,85 млн рублей в год, а срок окупаемости установки 1,3 года.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Проведенный анализ научной и патентной литературы позволил систематизировать варианты аппаратного оформления процесса переработки навозных отходов и обосновать актуальность разработки нового аэробного ферментера с низкими энергозатратами.
2. Разработан технологический процесс аэробной ферментации жидких навозных стоков с применением эффективного штамма *Endomycopsis fibuligera* ВСБ-12 и в вегетативных опытах показана эффективность применения проферментированного навоза.
3. Исследована кинетика процесса ферментации и установлены значения коэффициентов математической модели ($\mu_m = 0,18 \text{ ч}^{-1}$, $K_p = 0,08 \text{ г/л}$), а также расчетное время ведения процесса, составившее 75 часов.
4. Предложен новый ферментер для аэробной ферментации навозных отходов, содержащих до 15% сухих веществ, и на лабораторной модели объемом 100 л изучены его массообменные и гидродинамические характеристики, подтвердившие теоретически обоснованный принцип эффективного взаимодействия фаз в данной конструкции аппарата.
5. Разработан алгоритм и метод инженерного расчета ферментера, позволяющий осуществлять масштабный переход, и применительно к аппарату с рабочим объемом 10 м^3 проведен расчет технологических и конструктивных параметров.
6. Разработан комплект технической документации на ферментер с рабочим объемом 10 м^3 , на основе которого изготовлен опытно-промышленный аппарат, смонтированный на агрокомплексе по производству компостов.
7. Проведенные на реальной навозной среде испытания изготовленного ферментера подтвердили эффективность и устойчивость его работы, а также энергетическую эффективность: при удельных энергозатратах $0,3 \text{ кВтч/кг O}_2$ на весь процесс ферментационной переработки затрачивается 30 кВтч на 1 тонну навозных отходов.
8. Предложена экологически рациональная технолого-аппаратурная схема переработки навозных стоков в новом разработанном ферментере с последующим получением биоорганического удобрения (биокомпоста 50% влажности) и определена ее экономическая эффективность, срок окупаемости установки 1,3 года.
9. Выполненные в ходе исследований разработки защищены 4 патентами РФ.

Список работ, опубликованных по теме диссертации.

1. Винаров А.Ю., Ерина Т.Э., Соколов Д.П., Смирнов В.Н. Аппаратурное оформление процессов переработки навоза и алгоритм его инженерного расчета: Тез. докл. Международная научная конференция «Биотехнология на рубеже двух тысячелетий» 2001.-с.24-27.
2. Ерина Т.Э., Винаров А.Ю. Разработка биореактора для аэробной ферментации навоза и алгоритм его инженерного расчета. Сб. Межд. Конф. «Инженерная защита окружающей среды» М., 2002.
3. Винаров А.Ю., Семенцов А.Ю., Смирнов В.Н., Соколов Д.П., Ерина Т.Э. Аппаратурное оформление процессов переработки навоза и помета в удобрение. Москва, 2001г.-50с.
4. Винаров А.Ю., Кухаренко АА., Соколов Д.П., Смирнов В.Н. Ерина Т.Э. Технология и установка для микробиологической переработки помета в удобрение//ж. «Новые технологии». – 2002 - №3 – с. 47-49.
5. . Ерина Т.Э, Винаров А.Ю. Биотехнология ускоренной переработки навоза и ее аппаратурное оформление: Сб. докл. Международная научно-методическая конференция. «Экология-образование, наука промышленность», Белгород, 2002
6. Винаров А.Ю., Ерина Т.Э., Соколов Д.П., Смирнов В.Н. Аппаратурное оформление процессов переработки навоза: Тез. докл. 1-й международный конгресс «Биотехнология-состояние и перспективы развития»2002.- с.105-106
7. Винаров А.Ю., Ипатова Т.В., Ерина Т.Э., Дирина Е.Н. Ускоренный метод и ферментационная установка для получения биоорганического удобрения из отходов животноводства и птицеводства: Сб. докладов. 3-й. Межд. Конгресс по управлению отходами ВэйстТэк -. М. – 2003 - с.149-150.
8. Винаров А.Ю., Ерина Т.Э., Соколов Д.П., Смирнов В.Н.. Биоутилизация навозных стоков методом аэробной ферментации: Тез. докл. 3-ий Московский международный Конгресс «Биотехнология»: состояние и перспективы развития» Март. 2005, г.Москва..
9. Патент РФ 2184718. Био-органо-минеральное удобрение/ Винаров А.Ю., Смирнов В.Н., Семенцов А.Ю., Ипатова Т.В. Ерина Т.Э.- опуб. 27 декабря 2000г.

10. Патент РФ 2201910. Устройство для ферментационной обработки жидкого навоза/ Винаров А.Ю., Соколов Д.П., Смирнов В.Н., Семенцов А.Ю., Панченко О.Т., Ерина Т.Э. опуб. 30 января 2001г.

11. Патент РФ 2186475. Способ переработки навозных стоков и установка для его реализации/ Винаров А.Ю., Смирнов В.Н., Соколов Д.П., Семенцов А.Ю., Ерина Т.Э.- опуб. 23 июля 2001г.

12 Патент РФ 2200723. Способ получения минерально-органического удобрения/ Винаров А.Ю., Сидоренко Т.Е., Ипатова Т.В., Ерина Т.Э, Дирина Е Н - опуб. 26 декабря 2001г.

Отпечатано в ООО «Компания Спутник+»

ПД № 1-00007 от 25.09.2000 г.

Подписано в печать 28.11.05

Тираж 100 экз. Усл. п.л. 1,25

Печать авторефератов (095) 730-47-74, 778-45-60

2006A
2939

W-2939