

**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 ГосНИИсинтезбелък 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 б 12 №

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

Автореферат диссертации разослан «31 » мая 2006г.

**Ученый секретарь**

диссертационного совета **ДМ 212.204.13**

кандидат технических наук

И. Шакир

**И. В. Шакир**

2006A  
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. м<sup>3</sup> в год. Таким образом, известный вывод, что животноводческие комплексы являются даже более опасными для окружающей среды, чем крупные промышленные предприятия, очевиден.

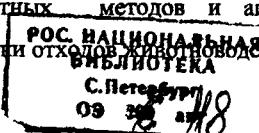
В связи с разнообразием территориальных, климатических, почвенных и других специфических условий и особенностей строительства животноводческих комплексов в России проблема утилизации отходов в настоящее время до конца не решена. Сложность реализации инженерно-технических задач удаления, транспортирования и обработки животноводческих отходов выдвинули проблему создания эффективных способов полезной утилизации навоза и помета и задачу их аппаратурного 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 переработки 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  $10\text{ м}^3$ ;
- провести разработку конструкторской документации для изготовления опытно-промышленного ферментера объемом  $10\text{ м}^3$  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  $0,7 \text{ м}^3/\text{м}^3\text{мин}$ . При этом, за счет нового оригинального технического решения по взаимодействию газо-жидкостных потоков достигается скорость массопередачи кислорода до  $2-4 \text{ кгO}_2/\text{м}^3$  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  $10\text{м}^3$ .

В результате проведенных модельных испытаний созданного ферментера объемом  $10\text{м}^3$ , подтвердивших эффективность его работы, в частности, установлено, что затраты электроэнергии составляют  $30 \text{ кВтч}$  для аэробной переработки 1т 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 жидкых 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  $10\text{м}^3$ . Проработана конструкция и разработан комплект технической документации для изготовления опытно-промышленного биореактора объемом  $10\text{м}^3$ , которая была согласована и передана для изготовления организации ООО «Биопоток».

Проведены гидравлические испытания опытно-промышленного ферментера объемом  $10\text{м}^3$ , 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 конгресс «Биотехнология - состояние и перспективы развития» 2002г., I -й международной конференции «Дождевые черви и плодородие почв» 2002г., 7-й Пущинской 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, проглощенных 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 жидкостную ферментационную обработку навозосодержащих сточных вод проводят при нагрузке на активный ил от 70 до 225мг ХПК/ч при низких скоростях порядка 0,01  $\text{ч}^{-1}$  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 0,25-0,35кВт $\cdot$ ч/кг готового продукта.

Таким образом, актуальной целью наших исследований было разработать метод инженерного расчета и конструкцию аэробного жидкостного 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 жидким и густым 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 полой 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 жидким 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  $t=30^\circ\text{C}$ ,  $n=220\text{об}/\text{мин}$ . 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<sup>2</sup>. Как видно из Рис.2, достоверное увеличение веса зеленой части растений характерно для проб после 60 и 70 часа ферментации.

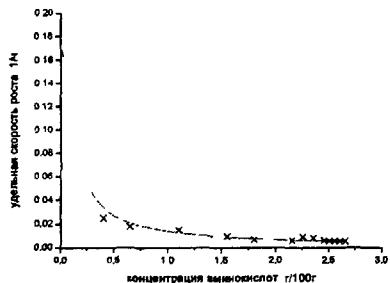


Рис. 1 Данные эксперимента по изменению содержания аминокислот и расчетная кривая по модели Иерусалимского.

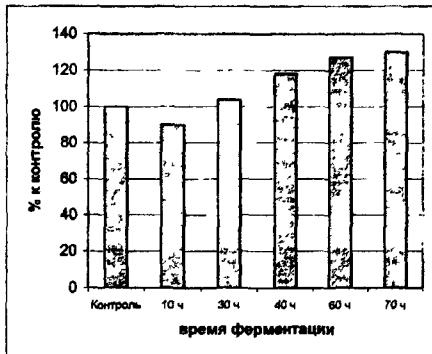


Рис. 2. Прибавка зеленої массы салата при выращивании растений с применением удобрений различной степени обработки.

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.

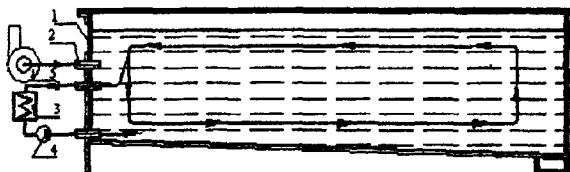


Рис. 3. Лабораторный ферментер.  
1-аэробный ферментер; 2-штуцер; 3-калорифер; 4-циркуляционный насос; 5-вентилятор.

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 циркуляционном 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  $\tau_{\text{ферм}}=75$  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  $M_O_2=f(Q_b)$  и  $M_N=f(Q_b)$  представлены на рисунке 4.

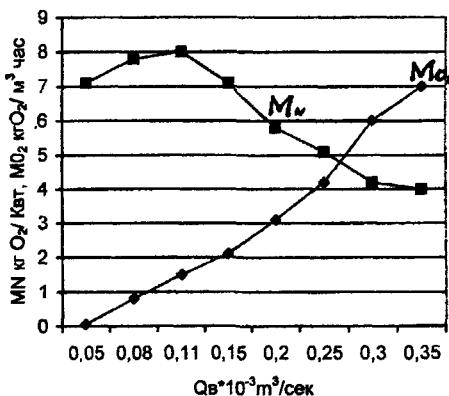


Рис. 4. Зависимость скорости массопередачи кислорода  $M_{O_2}$  и скорости передачи кислорода на единицу вкладываемой мощности  $M_N$  от объемной скорости эжектируемого воздуха  $Q_b$ .

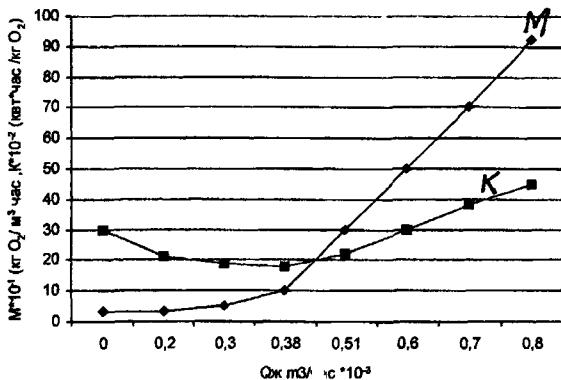


Рис. 5. Зависимость удельных затрат энергии на абсорбцию кислорода (K), скорости абсорбции кислорода (M) от расхода среды на циркуляцию Qж

Как следует из рисунка 4, оптимальное значение по нагрузке газовой фазы находится в пределах объемной скорости воздуха от 0.25 до 0.35  $\text{м}^3/\text{сек} \cdot 10^{-3}$ . Так как  $Q_{\text{в}}=f(Q_{\text{ж}})$ , то это соответствует расходу среды на циркуляцию в пределах 0.55-0.65  $\text{м}^3/\text{сек} \cdot 10^{-3}$ , что подтверждается графиком на рисунке 5. Дальнейшее же увеличение объемной скорости газа неподесообразно из-за значительного роста удельных энергозатрат и незначительного увеличения  $M_{\text{O}_2}$ .

### 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  $\Phi_{\text{ф}}$  в виде достаточно общего критерия оптимальности, являющегося технико-экономическим показателем процесса в ферментере:

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

где  $\Phi_{\text{ф}}$  - аддитивный критерий эффективности,  $\Phi_1$  - критерий, учитывающий затраты, связанные с расходом субстрата и минеральных элементов питания клеток;  $\Phi_2$  - критерий, учитывающий затраты, связанные с вводимой в ферментер внешней энергией;  $\Phi_3$  - критерий, учитывающий капитальные затраты на изготовление ферментера.

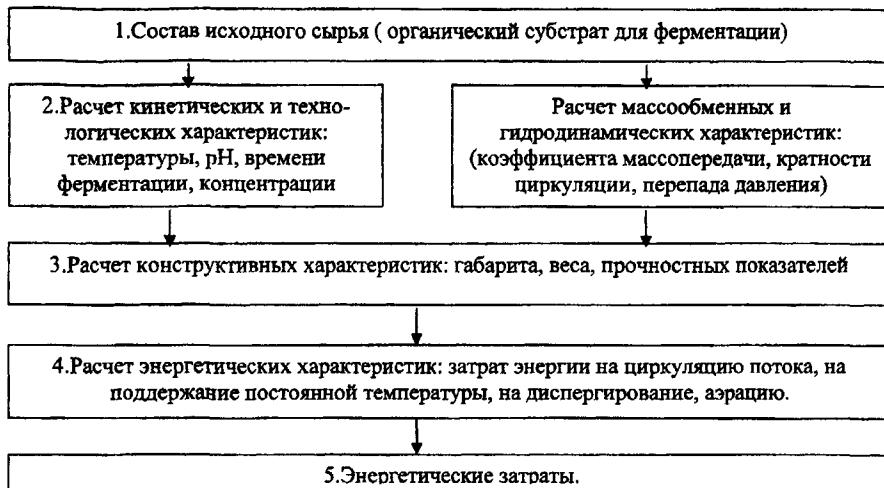


Рис. 6. Структурная схема и этапы расчета аэробного ферментера.

Выражение для глобального критерия оптимальности можно записать в виде:

$$\Phi_E = \sum_{j=1}^n \alpha_j l_j + \frac{N_r N_x}{V_x / \tau} \mathcal{E} + E \frac{K}{V_x / \tau} \rightarrow \min, \quad (2)$$

где  $\alpha_j$  - удельный расход на единицу биомассы  $j$ -го компонента питания;  $l_j$  - стоимость  $j$ -го компонента питания;  $N_r$ ,  $N_x$  - 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;  $\tau$ -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

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

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

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

Критерий  $\Phi_2$  имеет вид:

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

где  $\mathcal{E}$ -стоимость 1кВт\*ч электроэнергии.

Капитальные затраты определяются с учетом геометрических характеристик, массы аппарата, сложности изготовления и материала и в качестве частного критерия  $\Phi_3$  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  $H < H_{\text{доп}}$ ;  $D_{\text{ап}} < D_{\text{доп}}$ )
- 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  $\tau_2$  :  $Q_2 = V_2 / 3600 * \tau_2$ ,
  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 :  $\tau_2 = C / M_c$ ,
  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 :  $N_u = Q_1 * \Delta p$
2. Затраты энергии на барботаж составят :  $N_k = Q_b * \Delta p_b$
3. Затраты тепловой энергии на подогрев среды в теплообменнике определяется из соотношения  $N_r = k * [Q_b * r * \Delta x + G_{ct} * c_{ct} * (t_{вых} - t_{вх})]$

- далее осуществляется расчет частных критериев оптимальности  $\Phi_1$ (блок 10),  $\Phi_2$ (блок 11),  $\Phi_3$ (блок12),формирующих глобальный критерий  $\Phi$ (блок13).

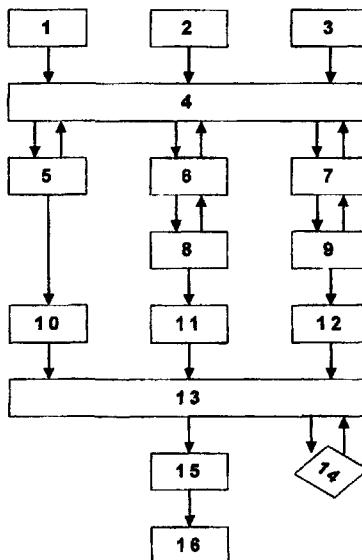


Рис.7 Блок-схема расчета ферментера

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.

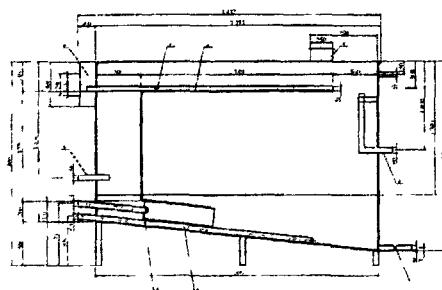
Критерием масштабного перехода с лабораторного аппарата на промышленный аппарат объемом  $10m^3$  был выбран коэффициент массопередачи. Был проведен инженерный расчет ферментера с рабочим объемом  $10m^3$ . Технические характеристики аппарата даны в таблице 2.

Таблица 2

## Технические характеристики разработанного ферментера

Наименование показателя	Размерность	Величина
1. Геометрический объем аппарата	$\text{м}^3$	15,0
2. Рабочий объем ферментера	$\text{м}^3$	10,0
3. Циркуляционный поток	$\text{м}^3/\text{час}$	.40
4. Расход воздуха на аэрацию	$\text{м}^3/\text{час}$	.300
5. Время циркуляции жидкости	мин	~10
6. Средняя скорость массопередачи $\text{O}_2$	$\text{кг}/\text{м}^3 \cdot \text{час}$	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	$\text{т} (\text{м}^3)$	10,0
11. Суммарная потребляемая мощность	кВт/ч	4.0
12. Удельные энергозатраты на 1т ( $1\text{м}^3$ ) 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 биокомпостов на агрокомплексе «Медынь». Опытно-промышленный ферментер представляет собой параллелипипид с размерами: ширина 1,8 м длина 4,0м, высота 2,2м. Геометрический объем аппарата-15  $\text{м}^3$ . Рабочий объем аппарата-10 $\text{м}^3$ . На Рис. 8 приведен один из видов- боковой разрез ферментера.

Рис. 8. Боковой разрез ферментера 10 $\text{м}^3$ 

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

энергии на циркуляцию, барботаж (воздуходувка) и перемешивание (нижний вал):  $N_{уст.}=5,5$  кВт. Потребляемая мощность (расчетно) :  $N_c = 4,0$  кВт. Удельные затраты энергии на абсорбцию кислорода :  $K = 0,3$  квт.ч/ кгO<sub>2</sub>. При времени ферментации Tферм.=75 час., удельные энергозатраты на 1т (м<sup>3</sup>) проферментированного продукта составят: Nуд.= 4,0квт x 75час /10м<sup>3</sup> = 30,0 квтч/т.

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПЕРЕРАБОТКИ ЖИДКИХ НАВОЗНЫХ СТОКОВ

Разработка технологической схемы переработки жидких навозных стоков с использованием разработанного ферmentера осуществлялась применительно к производству биокомпоста из навозных стоков на агрокомплексе «Медынь» Калужской обл. На Рис. 9. дана технолого-аппаратурная схема установки.

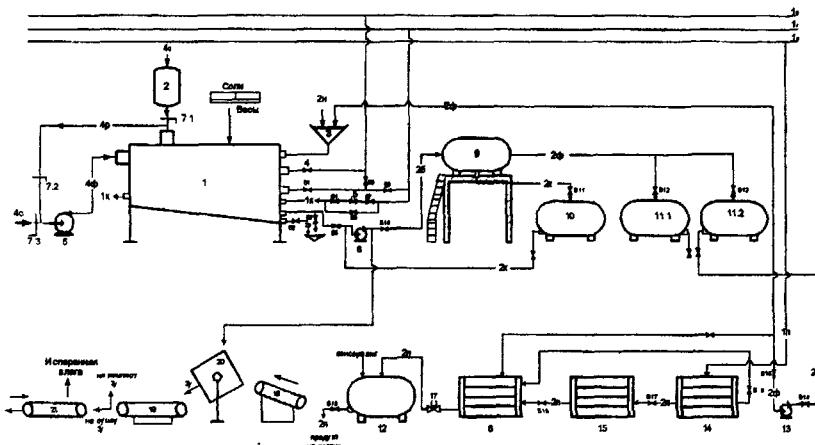


Рис.9. Технолого-аппаратурная схема опытно-промышленной установки

В диссертации приведены характеристики основного технологического оборудования данной установки и порядок ее работы. Навозные стоки со средним содержанием сухих веществ 7-12% через штуцер подачи поступают в ферментер до уровня 85% объема аппарата. После заполнения аппарата и внесения необходимого количества минерального питания включается циркуляционный насос и калорифер. Из циркуляционного штуцера навозные стоки отбираются циркуляционным насосом и через калорифер подаются снова в ферментер через эжектор и устройство для смысла осадка. После установления в ферментере

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 барботёре 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».



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  $10\text{ м}^3$  по предложенной технологической схеме, согласно расчетам составляет 0,85 млн рублей в год, а срок окупаемости установки 1,3 года.

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

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Проведенный анализ научной и патентной литературы позволил систематизировать варианты аппаратурного 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  $10\text{м}^3$  проведен расчет технологических и конструктивных параметров.
6. Разработан комплект технической документации на ферментер с рабочим объемом  $10\text{м}^3$ , 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 кВтч/кг  $O_2$  на весь процесс ферментационной переработки затрачивается 30 кВт·ч 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.

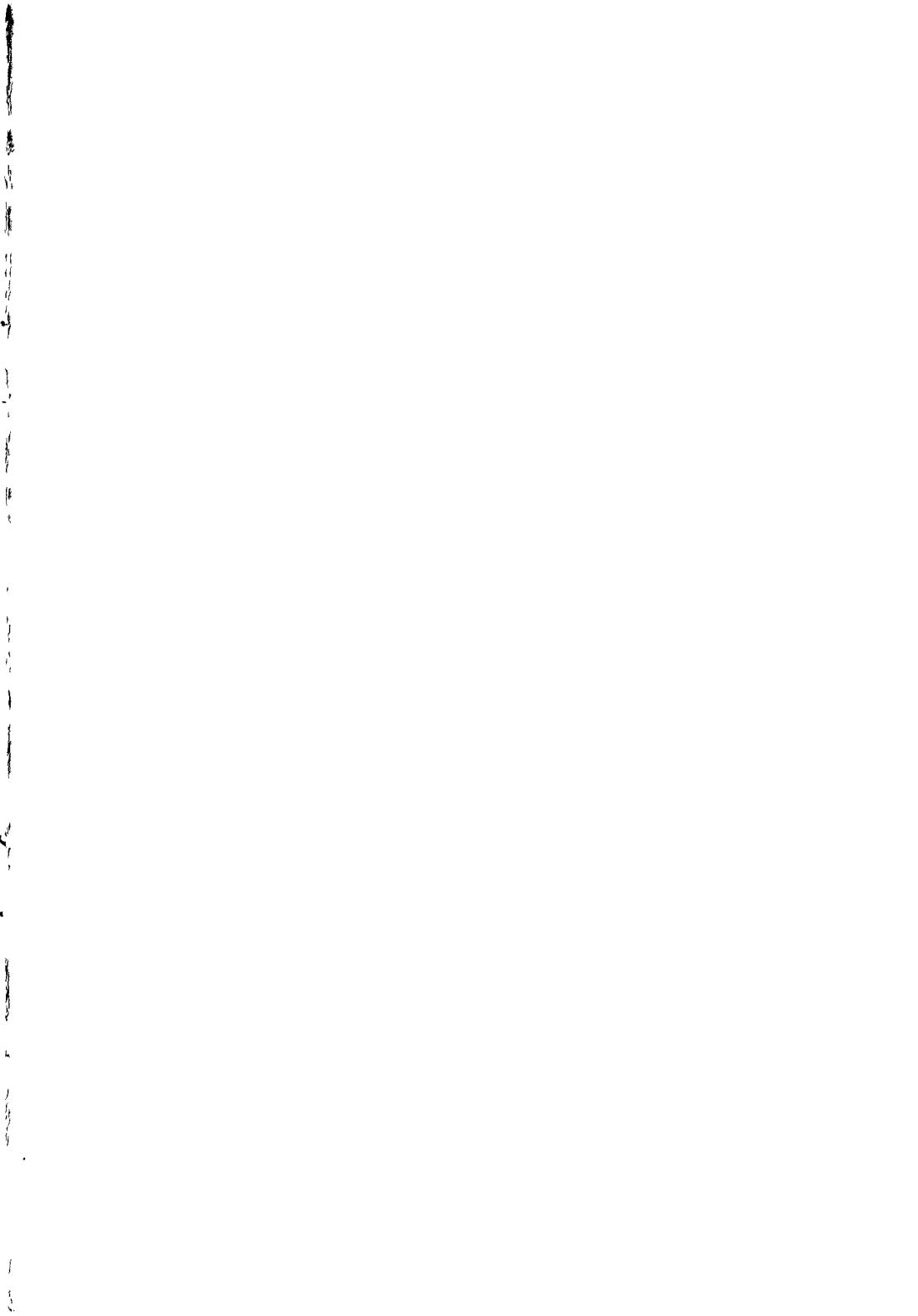
Отпечатано в ООО «Компания Спутник+»

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

■-2939