

На правах рукописи

БЕСЕЛОВА Екатерина Львовна

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ В ВАКУУМЕ И
РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

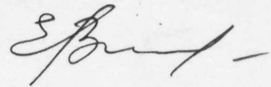
Специальность 05.13.07 -

Автоматизация технологических процессов и производств.

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук



Москва - 1998

Работа выполнена в Институте Машиноведения Российской Академии Наук
им. А. А. Благонравова.

Научный руководитель - Доктор технических наук,
профессор Е.А. Деулин.
Официальные оппоненты - Доктор технических наук,
профессор В.В. Слепцов;
Кандидат технических наук
Э. Л. Ламм.
Ведущее предприятие - Научно-экспертное Общество
"Эльтрон".

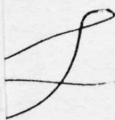
Защита диссертации состоится "21" января 1999 г. в "11" часов на заседании диссер-
сударственном Техническом Университете им. Н.Э.
., 5.

для, заверенный печатью, просим направить по

библиотеке МГТУ им. Н.Э. Баумана.

✓ 1998 г.

1561113



В.Т. Рябов

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1561113

Всеполова Е.П. Определение

Общая характеристика работы

Актуальность темы. Процессы обезвоживания органических веществ большой первоначальной влажности (до 98%) характерны для целого ряда отраслей. Отрасли, использующие в производстве большие объемы воды, получают отходы с влагосодержанием до 98%. В электронной промышленности это отходы "мокрой" технологии, процессов производства печатных плат, фотолитографии и т. д. Подобные отходы есть в отраслях химической, медицинской и других промышленности. Особенно остро стоит проблема обезвоживания (до стандартной влажности 14%) для производств с годовыми объемами продукции в миллионы тонн, например, пищевая, комбикормовая промышленности и, особенно, при переработке различных отходов, шламов сточных вод.

Осложнившаяся экологическая ситуация во всем мире требует более пристального внимания к процессам переработки и утилизации отходов, в том числе птичьего, свиного, коровьего помета, которые зачастую просто сбрасываются в окружающее пространство.

Общее количество осадков сточных вод только по России к 2000 г. составит от 120 до 140 млн. тонн в год. Количество отходов сельского хозяйства (помет птиц, свиней, крупного рогатого скота) - в 1,5 раза больше. Вокруг Москвы, в некоторых случаях практически в черте города, располагаются 32 птицефабрики с суточным выходом птичьего помета от 100 Т/сутки. Сегодня эти отходы, как правило, не перерабатываются, а по мере накопления в помещениях для содержания животных и птицы вывозятся на поля, где и складываются на долгие годы. Вешние воды, осенняя распутица и просто дожди смывают их в ближайшие водоемы, заражая воду болезнетворными микроорганизмами. Эти воды, в конечном итоге, попадают в мировой океан, заражая флору и фауну. А ближайшие водоемы - это источники пресной воды, которую мы потребляем. Поэтому по вопросам экологии эта проблема выходит на международный уровень.

Проблема переработки птичьего помета для России имеет большое значение, т.к. только здесь были организованы гигантские фермы с суточным выходом помета у птицеферм - до 300 т/сутки, а в свинофермах - до 2000 т/сутки. Особенно остро стоит проблема для ферм, находящихся в черте города.

Проблема не в том, как переработать помет и любые другие отходы, но в большей степени, как обеспечить экологическую и санитарно-эпидемиологическую

безопасность того или иного предприятия для окружающей среды. Существующие на сегодняшний день технологии не могут обеспечить такую защиту.

В связи с этим, целью данной работы является выявление физико-химических закономерностей и разработка структуры экологически безопасной принципиально новой технологии низкотемпературного обезвоживания органических веществ высокой влажности в вакууме (НОВ) и создание под эту технологию высокопроизводительного автоматизированного оборудования нового класса.

Для достижения этой цели были поставлены и решены следующие задачи:

- разработана физико-математическая модель процесса низкотемпературного обезвоживания в вакууме;
- синтезирована структура автоматизированной машины НОВ и ее отдельных систем;
- разработана инженерная методика расчета как самой машины, так и ее отдельных модулей;
- проведены масс-спектрометрические исследования выходных продуктов;
- обоснована экономическая целесообразность реализации автоматизированного технологического процесса НОВ.

Низкотемпературное обезвоживание в вакууме - это как раз тот инструмент, который обеспечивает не только экологическую безопасность процесса, но и экологическую чистоту самого продукта, получаемого в процессе переработки. Это безотходная энергосберегающая технология, в процессе которой происходит фракционирование исходного жидкого продукта на три составляющие: сухой остаток, чистую воду, которую можно использовать, и незначительный экологически безопасный выход.

На защиту выносятся:

1. Физико-математическая модель процесса обезвоживания в вакууме;
2. Технология НОВ, созданная на основе физико-математической модели;
3. Инженерная методика расчета и выбора параметров отдельных модулей автоматизированного оборудования НОВ;
4. Методика проведения исследований химического состава выходных продуктов при вакуумном обезвоживании;
5. Синтезированная структура автоматизированного оборудования НОВ;
6. Концепция высокопроизводительной машины НОВ вертикального типа.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- теоретически обоснована и получена физико-математическая модель процесса НОВ;
- впервые выявлена взаимосвязь химического состава выходных продуктов и технологических режимов НОВ;
- разработана идеология конструкции высокопроизводительной установки НОВ вертикального типа.

Практическая значимость:

- построена инженерная методика расчета оборудования НОВ;
- выявлена взаимосвязь технологических и конструктивных параметров оборудования НОВ;
- синтезирована структура автоматизированного оборудования НОВ;
- разработана методика проведения исследований химического состава выходных продуктов в процессе НОВ;
- результаты исследований и разработок использованы в процессе создания автоматизированного участка по переработке птичьего помета на Красногорской птицефабрике и цеха - на Томилинской птицефабрике.

Методы исследований. Теоретические исследования проводились на основе теории газодинамики, теории сушки, теории теплопередачи, базировались на основных положениях тепло- и массопереноса, теории производительности. Экспериментальные исследования режимов и физико-химических особенностей НОВ проводились на специально собранных вакуумных стендах, оснащенных автоматизированной системой управления и системой обработки информации. Проведение экспериментов и обработка результатов, оценка их точности и достоверности выполнялась с применением теории вероятности и математической статистики.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на заседаниях кафедры МТ-11 "Электронное машиностроение" МГТУ им. Н.Э. Баумана, на Ученом Совете ИМАШ РАН, 3-й Всероссийской научно-технической конференции "Вакуумная техника" (г.Гурзуф, 1996 г.), 10-й Международной конференции по тонким пленкам и 5-й Европейской вакуумной конференции (г. Саламанка, Испания, 1996 г.), II-й Российской конференции "Высокие технологии в промышленности России" (Москва, 1997), 4-й Всероссийской научно-технической конференции "Вакуумная техника" (г.Гурзуф, 1997г.).

Публикации. По теме диссертации имеется 14 печатных работ, в том числе, 1 патент на изобретение, 2 заключения на выдачу патента и 2 заявки на изобретение (вещество и способ) находятся на стадии рассмотрения.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, общих выводов, списка литературы из 99 наименований и приложений. Работа содержит 123 страницы, 14 таблиц, 34 рисунка.

Основное содержание работы

Во введении обоснована актуальность выбранной темы диссертационной работы, определены цель и задачи работы, сформулированы научная новизна, основные научные положения, выносимые на защиту и практическая значимость работы.

В 1-й главе дан обзор существующих технологий и оборудования, которые используются для сушки органических веществ, показаны преимущества и недостатки каждой из них. Проведенный анализ показывает, что на сегодняшний день не существует технологии переработки и утилизации отходов, в том числе помета, которая в полной мере отвечала бы требованиям экологии, экономики, технологичности и окупаемости.

В этой же главе рассмотрены предпосылки создания технологии низкотемпературного обезвоживания в вакууме (НОВ). Показана необходимость взаимосвязи оптимальных вариантов обработки и утилизации отходов, т.к. это связано с большими капитальными и эксплуатационными затратами. Эффективность работы заключается в возможности реализации концепции экологически чистой малоотходной технологии, выражающейся в сокращении вредного воздействия на окружающую среду при максимальной утилизации бросовых энергетических и материальных ресурсов и высвобождении значительной части территории, занимаемой отходами, для полезного использования.

Рассмотренные требования, предъявляемые к современным технологиям по переработке отходов, созвучны с особенностями понятия "высокие технологии".

Рассматривая трансформацию "высоких технологий" применительно к проблеме переработки и утилизации шламов сточных вод, отходов птицеводства и животноводства, а так же для обработки продуктов питания и мидпрепаратов, лекарственных средств, ферментов, эндокринного сырья, с целью повышения длительности их хранения без использования небезопасных для здоровья человека

консервантов, появилась идея создать новую технологию, пригодную для переработки любых органических отходов. Такой технологией стало низкотемпературное обезвоживание в вакууме.

Положения, приводимые в 1-й главе, позволяют сделать вывод об актуальности и большой перспективности технологии НОВ и необходимости всестороннего анализа ее физико-химических особенностей для ее практического внедрения.

На основании проведенного анализа и исследований сформулированы основные задачи разработки эффективной технологии и оборудования НОВ.

2-я глава посвящена разработке физико-математической модели процесса низкотемпературного обезвоживания в вакууме. Рассмотрены кинетика и динамика процесса сушки и показано, что процесс НОВ принципиально отличается от всех других видов сушки. Так как процесс происходит в вакууме, то становится принципиально возможно с помощью средств откачки поддерживать постоянное значение давления как в технологическом объеме, так и в самом обрабатываемом материале. Так как НОВ - это процесс принудительного обезвоживания, то давление пара материала не будет уменьшаться при достижении гигроскопического влагосодержания. Поэтому в процессе НОВ нет периода падающей скорости обезвоживания и кривая скорости обезвоживания выглядит иначе (рис. 1), чем при обычной сушке.

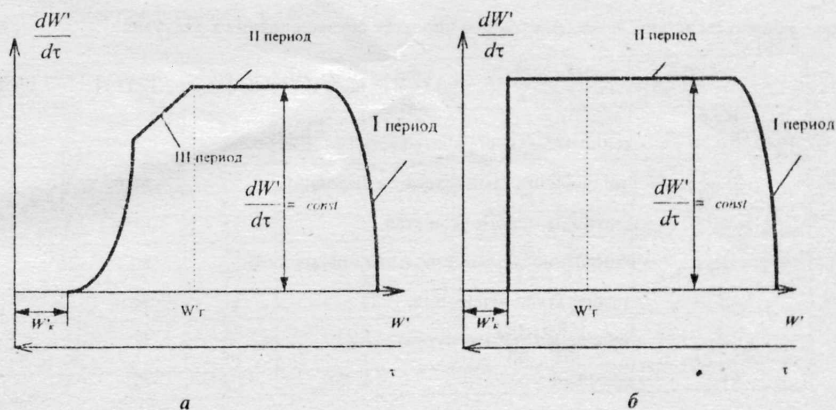


Рис.1. Кривые скорости сушки: а - типичного процесса сушки; б - процесса НОВ. W'_r - гигроскопическое влагосодержание, %, τ - время, час, W'_k - конечное влагосодержание, %.

Процесс НОВ, таким образом, по аналогии можно рассматривать как процесс испарения с открытой поверхности. Это предположение подтверждает возможность достижения любой требуемой влажностиконечного продукта, вплоть до нуля. Из выше сказанного можно сделать вывод, что при низкотемпературном обезвоживании из исходного жидкого продукта можно выделить воду. Чтобы выделить только воду, не изменяя химического состава исходного продукта (уменьшить его влагосодержание), необходимо обеспечить определенное соотношение потоков подводимого тепла (q), требуемого для проведения технологического процесса, и потока массы паров воды (M_n) выделяющихся и удаляемых в процессе обезвоживания.

$$(q \Leftrightarrow M_n) \leftrightarrow \boxed{\text{идентичность химического состава конечного продукта - исходному.}}$$

Для этого, с использованием законов термодинамики, теплопроводности и тепло- массопереноса, были определены тепло- и массопотоки в процессе НОВ. Далее, на основе полученных выражений и использования известного соотношения для определения количества тепла, необходимого для испарения заданной массы воды – $Q = m [c (T_n - T_1) + r]$, было получено уравнение, количественно и качественно описывающее физико-математическую модель процесса НОВ, характеризующуюся соотношением тепло- и массопотоков в процессе обезвоживания в вакууме:

$$A [c_p R_v \frac{dT}{dt} + \frac{1}{h_m} (p_n - p_e) r \frac{p_0}{p}] = h_m A (C_A - C_\infty) [c (T_n - T_1) + r],$$

где c - теплоемкость обрабатываемого материала

при рабочих температуре и давлении,

ккал/ кг К;

ρ_0 - плотность сухого вещества,

кг/м³;

R_v - отношение объема тела к его поверхности,

м;

T_b - температура испарения,

К;

T_1 - начальная температура,

К;

t - время,

с;

h_m - коэффициент массообмена,

м/с;

p_n - давление пара у поверхности материала,

Па;

p_e - парциальное давление среды,

Па;

p_0 - атмосферное давление,

Па;

p	- общее давление парогазовой смеси,	Па.
A	- площадь поверхности испарения,	m^2 ;
C_A	- массовая концентрация пара у поверхности испарения,	$кг/м^3$;
C_{∞}	- массовая концентрация пара в окружающей среде (вдали от поверхности испаряемой жидкости),	$кг/м^3$;
g	- удельная теплота парообразования,	ккал/ кг.

В 3-й главе представлены результаты экспериментальных исследований физико-химических особенностей НОВ. Эксперименты проводились для проверки аналитических зависимостей и уточнения режимов технологического процесса. Их результаты подтвердили правильность физико-математической модели и продемонстрировали возможность отделения из исходного жидкого продукта только воды, без изменения его химического состава. Анализы состава выхлопных газов в процессе НОВ, конденсата, полученного при обезвоживании и химического состава конечного сухого продукта проводились на специально собранном вакуумном стенде с использованием изотопного масс-спектрометра МИ 1201. Они подтвердили экологическую безопасность технологии и экологическую чистоту конечного продукта. Относительная концентрация различных элементов и химических соединений в воде, полученной в процессе низкотемпературного обезвоживания в вакууме птичьего помёта (конденсат), по сравнению с дистиллированной и водопроводной водой представлена в таблице 1.

таблица 1

Химическое соединение или элемент	Масса	Дистиллированная вода	Водопроводная вода	Конденсат
C	12	1	1 - 1.1	2 - 4
CH	13	1	2 - 4	6 - 8
N	14	1	2 - 4	4 - 6
NH ₃ ; OH	17	1	5 - 7	5 - 7
Na	23	1	800 - 1000	40 - 60
Mg; C	24	1	100 - 200	4 - 6
Al; C ₂ H ₃	27	1	1 - 1.5	1 - 1.5
Si; N ₂	28	1	7 - 9	10 - 12
Cl	35	1	до 10000	1
K	39	1	80 - 100	12 - 14
Ca	40	1	80 - 100	3 - 5

Химический состав птичьего помёта до и после процесса низкотемпературного обезвоживания в вакууме в процентах показан в таблице 2.

таблица 2

Показатели	Сырой птичий помёт (время вылеживания 7 дней)	Обезвоженный помёт
pH	7.2	6.6
влажность	77.8	9.8
зольность	32.5	32.5
органическое вещество	67.5	67.5
Азот общий:	5.67	3.31
в том числе, аммиачный (N - NH ₄)	3.42	1.26
нитратный (N - NO ₃)	следы	следы
фосфор (P ₂ O ₅)	6.5	5.7
калий (K ₂ O ₅)	2.4	1,9
Отношение C : N	6.8	10.2

Было также установлено, что в конечном сухом помёте отсутствуют микробиологическая флора, анаэробы, патогены и не утратившие всхожесть семена сорных растений.

Основные составляющие парциального давления продуктов парогазовыделения при низкотемпературном обезвоживании куриного помёта (в %) представлены в таблице 3.

таблица 3

Химическое соединение	Основные ионы	Парциальное давление, %	
		T = 20°C	T = 100°C
Вода	¹⁸ (H ₂ O) ⁺	65 - 75	50 - 60
Азот	²⁸ N ₂ ⁺	20 - 25	25 - 30
Метан	¹⁶ (CH ₄) ⁺	5 - 7	8 - 10
Аммиак	¹⁷ (NH ₃) ⁺	1 - 2	1 - 2
Пропан и его фрагменты	⁴⁴ (C ₃ H ₈) ⁺ ⁴⁰ (C ₃ H ₄) ⁺	4 - 6	6 - 8
Кислород	¹⁶ O ⁺	6 - 8	7 - 9
Угарный и угле- кислый газы	²⁸ (CO) ⁺ ⁴⁴ (CO ₂) ⁺	1 - 2	2 - 4
Водород	² H ₂ ⁺	менее 1	менее 1
Аргон	⁴⁰ Ar ⁺	менее 1	менее 1

Примечание: на остальные компоненты в сумме приходится 1 - 2 % интенсивности линий масс-спектра.

Для проведения процесса НОВ в рабочем объеме достаточно иметь давление от 10⁴ до 10⁵ Па, при этом рабочая температура колеблется от 40 до 100°C, что позволяет обеззаразить обрабатываемое вещество, не разрушить его структуры и сохранить органику исходного продукта. Уменьшение давления от 10⁴ Па до 10⁻² Па

не приводит к дальнейшей интенсификации процесса. Таким образом целесообразно проводить процесс НОВ при давлении не ниже 10^4 Па.

Задача исследования агрохимической ценности продукта, полученного в результате вакуумного обезвоживания состояла в определении объема потерь органического вещества при обработке сырого помета на установке низкотемпературного обезвоживания. При всех известных на сегодня технологиях переработки помета с получением сухого продукта потери органики составляют 20-35%, что значительно снижает агрохимическую ценность продукции. При выборе параметров процесса низкотемпературного обезвоживания исходили из требований исключить или минимизировать потери органики. Как показали исследования, проведенные во Всероссийском научно-исследовательском институте удобрений и агропочвоведения им. Д. Н. Прянишникова (ВИУА) показатели зольности и органики в свежем помете и в продукте, полученном после низкотемпературного вакуумного обезвоживания, оказались одинаковыми: зольности - 32,5%, органического вещества - 67,5%, что подтверждает справедливость физико-математической модели.

Аналогичные показатели дала независимая экспертиза сухого продукта в г.Казани - Республика Татарстан, в Англии и в Испании.

Таким образом, исследования показали, что выбранные рабочие характеристики технологического процесса позволяют проводить его в щадящем режиме, не разрушая белковых соединений исходного продукта и сохраняя процентное содержание органической составляющей и биологически полезной компоненты. Было подтверждено положение о возможности сохранения идентичности химического состава полезных веществ в исходном и конечном продуктах.

Для анализов брался как материал, полученный при обезвоживании в лабораторных условиях, так и конечный продукт, полученный при работе первого опытного образца машины, установленной на Красногорской птицефабрике.

Для определения областей применения НОВ, рассматривалась возможность обезвоживания в вакууме пищевых продуктов. В качестве технологических объектов были приняты овощи и фрукты, как массовый продукт потребления, не подлежащий длительному хранению без применения различных способов консервации, предотвращающих преждевременную гибель продукта. Анализ полученных данных подтвердил, что выбранная рабочая температура в диапазоне 55 - 65°C достаточна для ведения процесса.

Полученные результаты показывают, что технология низкотемпературного обезвоживания в вакууме применима для любого вида сырья, т.е. является универсальной. Сложности могут возникать при переработке промышленных отходов, состав которых не контролируется и не предсказуем, но утилизация таких отходов с помощью технологии НОВ для уменьшения их объемов, вполне реальна и по экологическим показателям имеет ряд преимуществ.

В 4-й главе представлена инженерная методика расчета основных конструктивных параметров автоматизированного оборудования НОВ. Рассмотрены основные параметры машины НОВ, которые определяют ее структуру и позволяют реализовать автоматический непрерывный цикл работы машины. Это - скорость откачки, которая помогает выбрать структуру вакуумной системы; площадь поверхности испарения, определяющая объем технологической камеры, кинематику и конструкцию системы транспортировки и подачи исходного продукта; мощность нагревателя и температура греющей поверхности, позволяющие выбрать структуру системы нагрева.

Конструирование технической системы предполагает выбор технологии, поиск ее аналога, рассмотрение на ранних стадиях проектирования вариантов ее структурных решений, и далее, на основе выбранной структуры - конструкторское воплощение. Выбранные технология и структура почти полностью определяют конструкцию технической системы. В этой главе дан анализ выбора структуры вакуумной системы, обеспечивающей технологию НОВ, а также выбор системы подачи и формирования потока обрабатываемого материала, системы нагрева и структуры машины в целом. Вакуумная система и система перемещения и формирования потока обрабатываемого материала являются основными, главными агрегатами, определяющими конструкцию всей машины и возможность автоматизации процесса. Все остальные системы зависимы.

Так как процесс НОВ предполагает, что остаточная атмосфера в рабочей камере, в основном, состоит из паров воды, то желательно собрать и удалить из технологического объема всю испарившуюся воду, чтобы использовать как полученный дистиллят, так и энергию, выделяющуюся при его охлаждении с пользой для производства. С этой целью, была разработана вакуумная откачная система, включающая конденсационный насос на тепловых трубах.

В этой же главе рассмотрены вопросы повышения производительности оборудования НОВ. Разработанные структура и кинематика установки обеспечивают

непрерывный процесс НОВ, поэтому цикловая производительность установки ($Q_{ц}$) равна технологической производительности ($K_{нов}$) и определяется массой обрабатываемого продукта за единицу времени ($M_{жид}$), а также его начальной ($W_{н}$) и конечной ($W_{к}$) влажностью.

$$Q_{ц} = K_{нов} = M_{жид} (100 - W_{н}) / (100 - W_{к}) \quad [\text{т/сут}].$$

А ожидаемая годовая производительность ($Q_{год}$) -

$$Q_{год} = \eta_{ис} Q_{ц} = \eta_{ис} K_{нов} = 0,986 M_{жид} (100 - W_{н}) / (100 - W_{к}).$$

На основе выбранной структуры и рассчитанных параметров создан опытный образец машины, установленный на Красногорской птицефабрике. Практика и дальнейшие расчеты выявили возможности уменьшения металлоемкости конструкции, усовершенствования системы нагрева, уменьшения занимаемой площади, снижения энергозатрат и увеличения производительности. Поэтому была разработана вертикальная прямоточная структура автоматизированной установки. Получено положительное решение на выдачу патента.

В 5-й главе рассмотрены вопросы практической целесообразности технологии и оборудования НОВ.

Процесс обезвоживания в вакууме может быть применен:

1. Когда необходимо сохранить первоначальный состав материала, который он имел в жидком состоянии;
2. Когда целесообразно при получении конечного продукта выделить водный дистиллят, пригодный для дальнейшего использования;
3. Когда конечный сухой продукт несет небезопасные вещества, попадание которых в жидкие и газообразные отходы технологического процесса недопустимо.

К первой области применения относятся процессы получения сухих пищевых и медицинских продуктов, например, изготовление порошка микроводоросли спирулины.

Ко второй области применения относятся процессы утилизации производственных и бытовых шламов. Высушенные таким образом шламы могут быть использованы, как наполнители экологически чистых строительных материалов, в которых высушенные частицы шламов герметизируются обволакивающим полимером, а уже затем используются как наполнители. Чистая вода, как сопутствующая

ший продукт этой технологии, значительно повышает экономический и экологический эффекты такой безотходной технологии.

К третьей области применения относятся процессы утилизации и переработки помета птиц и свиней на удобрение с выделением технически чистой горячей воды, которая может быть использована для технических нужд птицефабрик и свиноферм, или в котельных как теплоноситель.

Рассмотрены экономические, экологические и социальные преимущества технологии и оборудования НОВ. Техническими преимуществами являются простота решений конструкции механизмов и систем, применяемых в проекте, надежность и долговечность работы которых подтверждена опытом многих лет эксплуатации аналогичных устройств в экстремальных условиях химической, атомной и электронной отраслей промышленности. Модульный принцип агрегатирования оборудования позволяет при параллельном и последовательном соединении технологических модулей достигнуть любой производительности автоматизированного оборудования и обеспечить требуемое снижение влажности в конечном продукте.

Представлено технико-экономическое обоснование реализации проекта, основанного на технологии НОВ по переработке 300 тонн в сутки птичьего помета, влажностью 95 %.

Результаты работы и выводы

1. Анализ существующих методов и оборудования, используемых для сушки органических веществ выявил их преимущества и недостатки и доказал актуальность создания нового экологически безопасного процесса сушки, которым явилась технология низкотемпературного обезвоживания в вакууме - НОВ.

2. Установлена принципиальная возможность использования метода низкотемпературного вакуумного обезвоживания органических веществ большой влажности для получения экологически чистого продукта низкой влажности (до 1%), в том числе, получение из сырого птичьего помета экологически чистого удобрения с высокой агрохимической ценностью.

3. Теоретически обоснована физико-математическая модель процесса НОВ. Доказано, что возможна реализация процесса, обеспечивающего фракционирование первоначально жидкого продукта с влажностью до 99 % на 3 составляющие:

сухое вещество, влажностью до 1%, воду, пригодную для использования в технических целях, и незначительный экологически чистый газообразный выхлоп

4. Впервые, используя технологию НОВ становится принципиально возможным полное сохранение органической составляющей исходного продукта, исключение потерь основных питательных веществ в сухом помете, повышение экономичности процесса.

5. Показано, что использование диапазона температур от 40 до 100 °C устраняет эффект разложения углеводородистых соединений, и в тоже время, позволяет произвести обеззараживание исходного продукта.

6. Эксперименты, проведенные по разработанной методике, подтвердили правильность построения физико-математической модели и показали, что в сыром помете, влажностью 77,8 %, имеющем 32,5 % зольности и 67,5 % органики, после обезвоживания в вакууме сохраняется содержание зольности - 32,5 % и органики - 67,5 %. Сконденсированная вода, получаемая при вакуумном обезвоживании по своему составу чище водопроводной.

7. Впервые показано, что автоматизация процесса и требуемые технические параметры обезвоживания могут быть реализованы при наличии правильно выбранного соотношения между массопотоком паров воды - M_n из сырого продукта и скоростью их откачки из технологического объема - $S_{отк}$ ($M_n \leq S_{отк}$).

8. Анализы химического состава газообразного выхлопа, конденсата и сухого продукта подтвердили положение об экологической безопасности технологии (стоки отсутствуют, а выхлопные газы практически повторяют состав атмосферного воздуха) и возможность сохранения идентичности исходного и конечного продукта.

9. Впервые выявлена взаимосвязь технологических и конструктивных параметров оборудования НОВ. На примере создания новой технической системы низкотемпературного обезвоживания органических веществ в вакууме, проведен анализ процесса выбора рациональной структуры автоматизированной машины. На основании физико-математической модели технологии НОВ синтезирована структура оборудования НОВ, которая включает рабочий объем, вакуумный агрегат, систему подачи и формирования потока исходного продукта, систему нагрева и систему питания и управления.

10. Созданный опытный образец установки НОВ, разработанная инженерная методика расчета и выбора параметров, расчет производительности позволили

доказать эффективность и практическую целесообразность технологии и оборудования, выявили области ее возможного применения, в том числе, консервирование продуктов высокой биологической ценности (лекарственные средства, ферменты, эндокринное сырье, препараты крови, продукты питания и др.); переработка и/или утилизация различных отходов (шламов сточных вод, отходов птицеводства, животноводства, пищевой и др. промышленности).

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Веселова Е. Л., Ковалева Н. Л. Синтез структуры машины вакуумного обезвоживания. // Справочник. Инженерный журнал. -М.: Машиностроение. № 4. 1998. -с. 9-17.
2. Веселова Е. Л. Обезвоживание в вакууме. Физика технологии. Применение. // Справочник. Инженерный журнал. -М.: Машиностроение. № 1. 1998. -с. 18-20.
3. Веселова Е. Л., Деулин Е. А., Ковалев Л. К. Сравнительный анализ методов сушки влажных органических веществ. // 3-я научно-техническая конференция с участием зарубежных специалистов "Вакуумная наука и техника." Гурзуф. 1996.
4. Веселова Е. Л., Деулин Е. А., Ковалев Л. К., Томашевский А. Г. Вакуумная система для откачки объемов с гигантскими потоками водяного пара. Конденсационный насос на тепловых трубах. // 3-я научно-техническая конференция с участием зарубежных специалистов "Вакуумная наука и техника." Гурзуф. 1996.
5. Веселова Е. Л., Ковалев Л. К. Физическая модель вакуумного процесса низкотемпературного обезвоживания органических веществ. // 4-ая научно-техническая конференция с участием зарубежных специалистов "Вакуумная наука и техника". Гурзуф. 1997. -с. 46-48.
6. Веселова Е. Л., Ковалев Л. К. Вариации структуры машины, как средство совершенствования ее функциональных возможностей. // Высокие технологии в промышленности России. Материалы II Российской конференции с участием зарубежных специалистов. -Москва: МАИ. 1997.
7. Веселова Е. Л., Ковалев Л. К., Метельский З. И. Низкотемпературное обезвоживание органических веществ в вакууме. // 3-я научно-техническая конференция с участием зарубежных специалистов "Вакуумная наука и техника." Гурзуф. 1996.

8. Веселова Е. Л., Ковалев Л. К., Метельский З. И. Установка низкотемпературного обезвоживания органических веществ в вакууме. // 3-я научно-техническая конференция с участием зарубежных специалистов "Вакуумная наука и техника." Гурзуф. 1996.
9. Заявка на патент № 96109427. Устройство для сушки органических веществ. / Ковалев Л. К., Метельский З. И., Веселова Е. Л. // Положительное решение.
10. Заявка на патент № 97113310. Способ низкотемпературного обезвоживания веществ в вакууме. / Ковалев Л. К., Веселова Е. Л., Крайнев А. Ф. // Приоритет 01 августа 1997.
11. Заявка на патент № 97115600. Вещество, получаемое низкотемпературным обезвоживанием птичьего помета в вакууме - Гуанорус. / Ковалев Л. К., Веселова Е. Л., Крайнев А. Ф. // Приоритет от 10 сентября 1997.
12. Заявка на патент № 97111704. Устройство для низкотемпературного обезвоживания органических веществ в вакууме. /Ковалев Л. К., Веселова Е. Л., Крайнев А. Ф. // Положительное решение от 10.09.98.
13. Патент № 2013723. Установка для сушки органических веществ. / Ковалев Л. К., Метельский З. И., Веселова Е. Л.// Приоритет от 01.04.96.