

Автореф.

М 52

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
им. М.В.ЛОМОНОСОВА

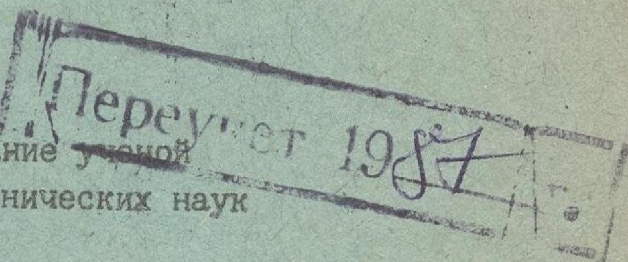
На правах рукописи

МЕРАБАШВИЛИ Анна Кирилловна

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ ПОРЕ И
ПАСТООБРАЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ ВО ВСПЕНЕННОМ
СОСТОЯНИИ

Специальность 05.18.12 – процессы и аппараты пищевых
производств

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук



Одесса - 1981

211

Работа выполнена в Дагестанском политехническом институте.

Научный руководитель – доктор технических наук,
— профессор М.С.Аминов

Официальные оппоненты:

- доктор технических наук, профессор Еидко В.И.
- кандидат технических наук доцент Корчагин В.Д.

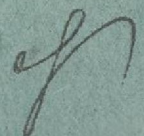
Ведущее предприятие – Всесоюзный научно-исследовательский экспериментально-конструкторский институт продовольственного машиностроения (Москва).

Защита состоится "24" декабря 1981 г.
в 14⁰⁰ часов на заседании специализированного совета Д 068.35.01 при Одесском технологическом институте пищевой промышленности им. М.В.Ломоносова, 270039, г. Одесса, ул. Свердлова, 112.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Одесского технологического института пищевой промышленности имени М.В.Ломоносова.

Автореферат разослан "21" ноября 1981 г.

Ученый секретарь
специализированного совета


Загибелов А.Ф.

12 ОНАХТ

19.09.12

Исследование процесс



v013785

Общая характеристика работы

Актуальность работы. В принятых XXVI съездом КПСС "Основных направлениях развития народного хозяйства СССР на 1981-1985 годы и на период до 1990 года" указано на необходимость широкого внедрения малооперационной, эффективной технологии, на всемерное расширение исследований по изысканию рациональных способов тепловой обработки с минимальными энергетическими затратами. В этом плане практический интерес представляют разработки аппаратов и технологических схем для высушивания пюре и пастообразных материалов во вспененном состоянии. Известно, что метод пеносушки является одним из перспективных и экономически эффективных. Пеносушка осуществляется при атмосферном давлении в простых по устройству аппаратах непрерывного действия, позволяет высушивать термолабильные, термопластичные материалы сложного состава, обеспечивает высокое качество сухого продукта при сравнительно низких материальных затратах. Актуальный практический интерес представляет применение указанного метода для обезвоживания белковых препаратов пюре и пастообразной консистенции (гидролизатов, бульонов и т.д.), используемых в промышленном производстве сухих питательных сред, которые в настоящее время получают сублимацией, либо распылением. Применение распылительной сушки ограничено ввиду высокой гигроскопичности и термопластичности продукта; сублимационной сушки - ввиду сложности используемого оборудования, значительных энергетических и материальных затрат на выработку 1 единицы продукции и длительности процесса.

Настоящая работа выполнялась в соответствии с общим планом научно-исследовательской работы Дагестанского политехнического института по теме: "Тепломассообмен в системе твердое тело -

"газ - жидкость", имеющий номер госрегистрации 76050076.

Целью работы явилось создание аппарата для высушивания пюре и пастообразных материалов во вспененном состоянии, разработка принципиально новой технологии приготовления сухих питательных сред, изыскание оптимальных условий сушки, обуславливающих интенсификацию процесса при сохранении высоких качественных показателей.

Научная новизна работы состоит в том, что впервые исследован процесс конвективной сушки цилиндрического слоя пены, и создана новая прогрессивная технология приготовления сухих питательных сред. Впервые использован для сушки во вспененном состоянии аппарат с трюбовым транспортером и валиковым питателем, работающий при атмосферном давлении, исключая применение окребков и ножей для снятия сухого продукта, создан образец опытно-промышленной установки нового типа. Проведены комплексные исследования закономерностей кинетики конвективной пеносушки агаро-белковых основ и белковых гидролизатов. Экспериментально и теоретически обоснованы режимные параметры сушки, обеспечивающие интенсификацию процесса сушки при сохранении высокого качества продукта. Новизна работы подтверждается : 1. Авторским свидетельством № 557092, СССР; 2. Авторским свидетельством № 557244, СССР; 3. Авторским свидетельством № 800184, СССР; 4. Авторским свидетельством № 800542, СССР; 5. Авторским свидетельством № 763460, СССР; 6. Положительным решением ВНИИПЭ по заявке № 2964491/23 /216430/ от 28.07. 1980 г.

Научные положения защищенные автором. В работе научно обоснованы режимные параметры пенообразования и показана возможность получения пены из различных белковых гидролизатов

производственных партий выработки и агаро-белковых основ без добавления каких-либо эмульгаторов, пригодных для высушивания в цилиндрическом слое. Экспериментально и теоретически определены оптимальные условия для осуществления процесса сушки в цилиндрическом слое пены на сушильной поверхности в виде струн. В работе дано обоснование пониженных гигроскопических свойств гидролизатов и агаро-белковых основ, полученных пеносушкой в аппарате нового типа, найдено уравнение, описывающее зависимость: $W^P = f(\varphi)$ в широком диапазоне относительной влажности (0,15 - 0,75).

Апробация работы. Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались в период с 1976-1980 гг. на межвузовских конференциях, организованных ДагНИИПХ МЗ СССР в г.Махачкале, на конференциях молодых ученых Дагестана, на научно-технических конференциях Дагестанского государственного университета им.В.И.Ленина, Дагестанского политехнического института, на технических совещаниях и ученом совете Дагестанского научно-исследовательского института питательных сред.

Публикации. Основные положения диссертационной работы опубликованы в 6 печатных работах, пяти авторских свидетельствах и в одной заявке на изобретение, по которой получено положительное решение ВНИИГНЭ.

Практическая ценность работы определяется:

- созданием новой, более прогрессивной и экономически эффективной технологии приготовления сухих питательных сред и внедрением ее на производстве;
- созданием аппарата с сушильной поверхностью выполненной из отдельных струн для сушки продуктов пюре и пастообразной консистенции во вспененном состоянии и внедрением опыта-

промышленного образца на производстве;

- созданием устройства для нанесения вспененного продукта на сушильную поверхность в виде струи, исключающего давящее усилие, что обеспечивает сохранение пенной структуры;

- установленными оптимальными режимными параметрами пенообразования и сушки белковых препаратов и многокомпонентных смесей в цилиндрическом слое пены;

- предложенным уравнением расчета равновесного влагосодержания рыбных гидролизатов, полученных распылением и пеносушкой в зависимости от относительной влажности воздуха;

- предложенным уравнением для расчета продолжительности сушки белковых препаратов во вспененном состоянии в конвективном аппарате с сушильной поверхностью в виде струи.

Реализация работы. Результаты экспериментальных и теоретических исследований по сушке пуре и пастообразных материалов во вспененном состоянии, а также исходные данные для проектирования переданы научно-исследовательскому институту питательных корм (ДагНИИПИС, г.Махачкала), ВНИЭКИПРОДМАШ (г.Москва).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из пяти глав, общих выводов, списка литературы из 147 наименований, в том числе 23 иностранных наименований и приложений. Общий объем работы 162 страниц, в том числе 24 рисунка, 38 таблиц.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ

В первой главе дан анализ существующих способов сушки жидких пуре и пастообразных материалов; проведен обзор работ, посвященных технике и технологии сушки пуре и пастообразных материалов во вспененном состоянии; приведены данные экспери-

ментов, проведенных автором по высушиванию белковых препаратов во вспененном состоянии на пластине. На основании анализа и обобщения имеющейся информации были сформулированы основные задачи настоящей работы:

1. Разработать конструкцию аппарата для сушки пены и пастообразных материалов во вспененном состоянии в цилиндрическом слое, лишенную скребков и ножей для снятия сухого продукта.
2. Разработать устройство для нанесения вспененного продукта на струны, обеспечивающее равномерное покрытие сушильной поверхности пеной и максимальное сохранение ее структуры.
3. Определить влияние различных факторов на механизм пенообразования и устойчивости пены для белковых концентратов, используемых в промышленном производстве сухих питательных сред, с целью изыскания оптимальных параметров пенообразования, обуславливающих получение пен пригодных для высушивания в конвективном аппарате с сушильной поверхностью в виде отдельных струн.
4. Исследовать гигроскопические свойства гидролизатов и агаро-белковых основ.
5. Исследовать процесс сушки гидролизатов и агаро-белковых основ в цилиндрическом слое пены с целью выявления закономерностей кинетики процесса и определения оптимальных режимных параметров сушки.
6. Исследовать качественные показатели сухих гидролизатов и агаро-белковых основ для обоснования технологии и практических рекомендаций.

7. Обосновать экономическую эффективность высушивания белковых концентратов в цилиндрическом слое пены.

Вторая глава посвящена описанию экспериментальных установок, стендов и методов исследования.

Исследования процесса сушки поро и пастообразных материалов во вспененном состоянии, разработку оптимальных режимов пенообразования и сушки в цилиндрическом слое пены проводили для различных белковых гидролизатов, агаро-белковых основ и других белковых концентратов пастообразной консистенции, используемых в промышленном производстве сухих питательных сред. Пену получали обиванием якорной мешалкой в цилиндрической емкости при температуре $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Сушку осуществляли на специально сконструированной экспериментальной установке (Рис. I).

Сушильная установка имеет ряд отличительных признаков от ленточных аппаратов, используемых для высушивания пены: она компактна, не содержит сложных узлов и элементов. Отсутствие скребков и ножей для снятия сухого продукта исключает возможное попадание металла в продукт. Транспортная лента выполненная из отдельных струн с нанесенным в виде макарон вспененным продуктом, обеспечивает увеличение поверхности испарения, а всестороннее омывание продукта нагретым воздухом значительно интенсифицирует процесс.

Нанесение пены на струны осуществляется специальным валиковым питателем (Рис. 2). (Конструкция защищена авторским свидетельством). При нанесении вспененного продукта на струны исключается давящее усилие, что позволяет максимально сохранить пенную структуру, и обеспечивается равномерное покрытие сушильной поверхности пеной.

Исследование оптимальных условий процессов пенообразования и

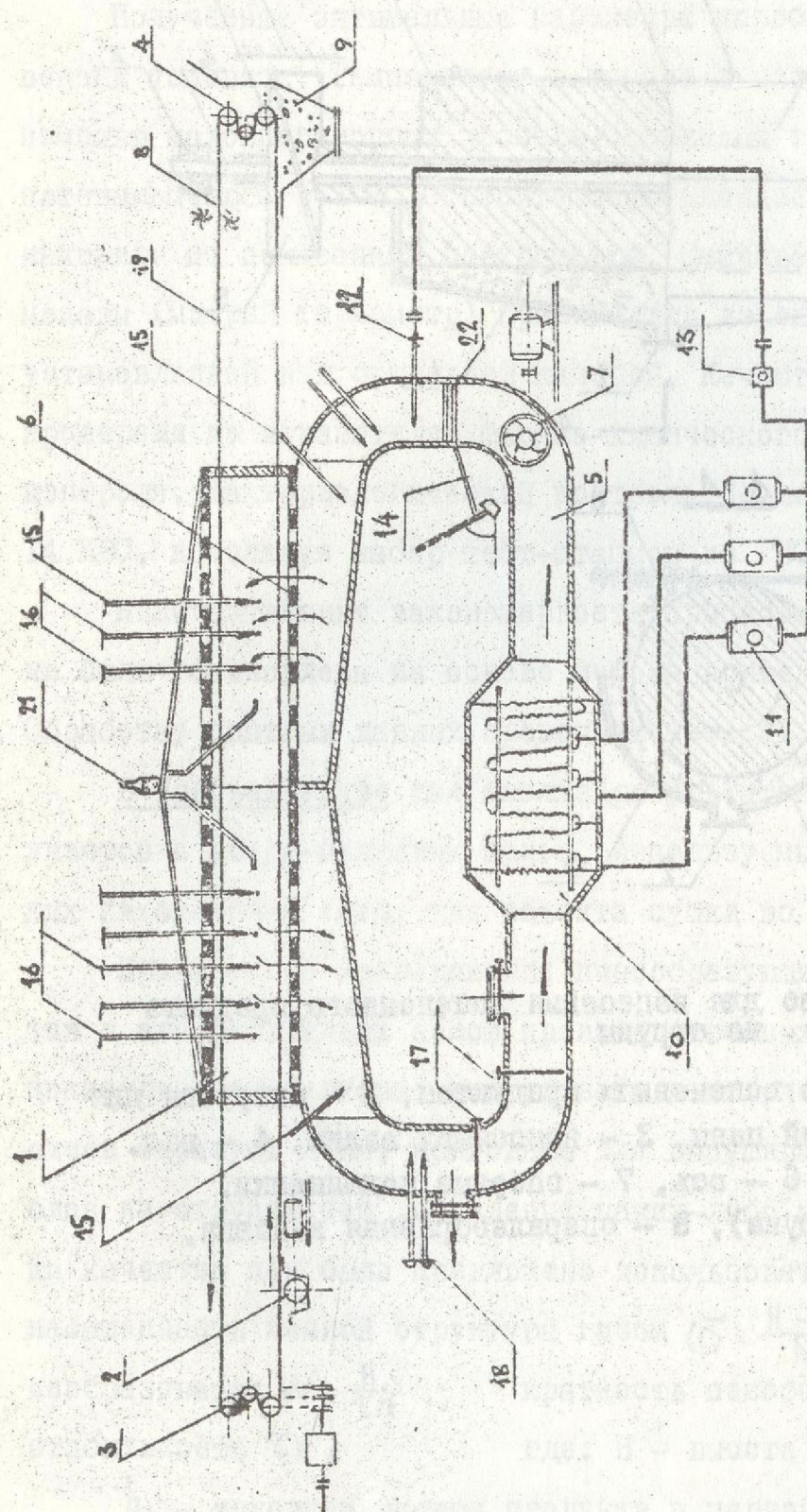


Рис. 1. Схема электронно-лучевой установки. 1 - лампа, 2-нагреватель, 3-блок накала при-
пайки, 4-блок накала (соединен с накалом), 5-вспомогательный, 6-электроды, 7-электроды,
8-электроды, 9-электроды, 10-калориметр, 11-калориметр, 12-калориметр, 13-калориметр,
14-калориметр, 15-калориметр, 16-калориметр, 17-калориметр, 18-калориметр, 19-калориметр,
20-калориметр, 21-калориметр, 22-калориметр.

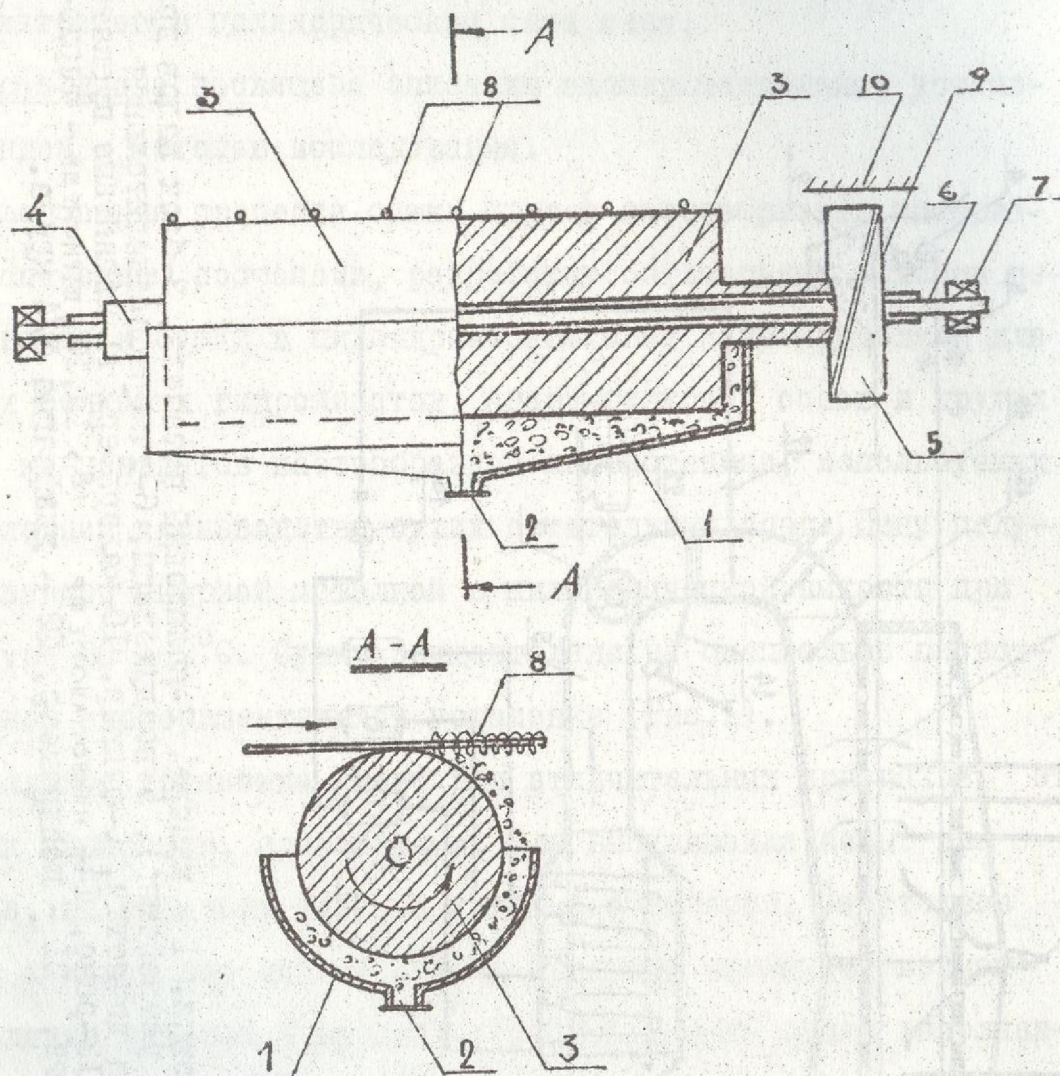


Рис.2. Устройство для нанесения вспененного продукта на струну

1 — корпуса со вспененным продуктом, 2 — патрубок для отвода отекшей пены, 3 — наносящий валик, 4 — вал, 5 — ступица, 6 — ось, 7 — опорные подшипники, 8 — трос (струна), 9 — спиралеобразная канавка, 10 — колар.

сушки проводили методом математического планирования экспериментов по известной схеме Бокса-Уилсона.

Полученные оптимальные параметры апробировали в производственных условиях. Температуру в камере и слое пены определяли с помощью малоинерционных хромель-копелевых термопар в комплекте с потенциометром Р-306. Относительную влажность воздуха в камере находили по показаниям психрометра. Смачивание одного конца термопары (мокрый термометр) производили из специальной капельницы, установленной над сушильной камерой. Качество сухого продукта проверяли по показателям физико-химического и бактериологического контроля. Бактериологический контроль осуществляли согласно ТУ-42-14 КВС, используя набор тест-штаммов из ТИСК им. Тарасовича.

Количественные закономерности процесса конвективной пеносушки были установлены на основе метода приведенной скорости сушки. Обработку опытных данных проводили методом наименьших квадратов.

В третьей главе дан анализ результатов исследований гидролизатов и агаро-белковых основ, используемых в производстве сухих питательных сред, как объекта сушки во впитанном состоянии.

Проведенные исследования пенообразующих свойств гидролизатов и агаро-белковых основ производственных партий выработки показали, что белковые гидролизаты и полученные на их основе смеси образуют пены, пригодные для высушивания в цилиндрическом слое на струнах без добавления каких-либо эмульгаторов. Для оценки качества пен было предложено использовать такие критерии, как: насыщенность пенной структуры газом $\sigma = \frac{H - h_0}{h_0}$; скорость пенообразования $W = \frac{H}{\tau_n}$; кратность пенообразования $K = \frac{H}{h_0}$; стабильность τ_p , где: H - высота пенослоя (см.);

h_0 - исходная высота продукта в мерной емкости (см.);

τ_n - продолжительность обивания пены (мин.);

τ_p - продолжительность существования пены без видимого изменения ее структуры (мин).

Нами установлено, что для высушивания в конвективном аппарате с сушильной поверхностью в виде струн стабильными можно считать пены со значением $\tau_p = 30$ мин и более. Однако при хранении пены более 50 мин. наблюдалось укрупнение пузырьков, что свидетельствовало с начала так называемого процесса "старения" пены.

Равномерность покрытия сушильной поверхности влияет на качество высушиваемого материала и на продолжительность процесса. Опыты показали, что высокие пены со значением кратности 3 и более не пригодны для высушивания на тросах. Трос проскальзывает сквозь пену, не обеспечивая равномерного покрытия. Хорошие результаты получены для всех исследуемых материалов при значении кратности 1,5 - 2,5.

Анализ микроструктуры пены в процессе сбивания показал, что аэрирование белковых концентратов воздухом либо другим газом нецелесообразно, так как это не улучшает качественных показателей пены: дисперсность уменьшается, а средний диаметр пузырьков возрастает.

Для выявления оптимальных значений исходной концентрации (С %), числа оборотов мешалки (n) и продолжительности сбивания (τ_n) на стабильность пены (τ_p) использовали матрицу планирования полного факторного эксперимента ПФЭ 2^3 , на основе реализации которой были найдены оптимальные параметры пенообразования: $C = 60\%$, $n = 3500$ об/мин, $\tau_n = 6$ мин.

Полученные данные были испытаны на различных гидролизатах в производственных условиях. Приготовление в данном режиме пены удовлетворяли требованиям для высушивания в конвективном

аппарате на тросах, обеспечивали высокое качество продукта.

Анализ изотерм сорбции гидролизата рыбы, полученный пеносушкой и распылением (Рис.3) показал, что обе кривые 1,2 имеют S - образный вид и могут быть отнесены по классификации Лыкова А.В. к коллоидно-капиллярно-пористым телам.

Сравнивая изотермы 1,2 мы видим, что у гидролизата, полученного пеносушкой в области $\varphi = 0 \div 0,15$, участок, соответствующий адсорбционно связанной влаге мономолекулярного слоя, меньше, чем у того же гидролизата полученного распылением, зато больше содержание адсорбционно-связанной влаги полимолекулярного слоя, а участок характерный для влаги микрокапилляров на кривой 1 трудно выделить. На изотерме 2 для участка $\varphi = 0,15 \div 0,6$ характерна полимолекулярная адсорбция, а участок $\varphi = 0,6 \div 0,9$ соответствует влаге микрокапилляров. Изображение изотермы 1 рис.3 в полулогарифмической анаморфозе дает наглядное представление о формах связи влаги с материалом. Явно видны 3 зоны: I - зона заполнения активных сорбционных центров, II - зона полимолекулярной адсорбции и III - зона набухания или аморфизации.

Сопоставляя кривые 1,2 можно сделать вывод, что гидролизаты, высушенные пеносушкой, имеют пониженные гигроскопические свойства.

Образцы сухих гидролизатов, полученных пеносушкой, были переданы Дагестанскому научно-исследовательскому институту питательных сред, где хранились в течение двух лет в стеклянной таре, закрытой капроновыми крышками (негерметичная упаковка). Контрольным образцом являлись гидролизаты, высушенные распылением, герметично упакованные в стеклянные банки запарафинированные (заводская упаковка). При вскрытии банок оказалось, что образцы высушенные пеносушкой, сохранили сыпучесть, а у продукта

распылительной сушки наблюдалось легкое комкование. Объяснить это можно тем, что гидролизат высушенный распылением представляет собой мелкодисперсный порошок (пыль), с троса продукт снимается в виде крупных частиц (агломератов). Внешняя поверхность продукта, обращенная в камеру, глянцевая, гладкая за счет усадки поверхностного слоя и его частичной аморфизации. Внутренняя, обращенная к тросу поверхность, имеет пористую структуру с крупными макрокапиллярами видимых невооруженным глазом размеров конической формы. Как известно из исследований Лыкова А.В. такие структуры не сорбируют влагу из атмосферы.

Математической обработкой опытных данных установлена зависимость равновесного влагосодержания материала от относительной влажности воздуха в виде степенной функции: $W^p = ab^v$ (1)

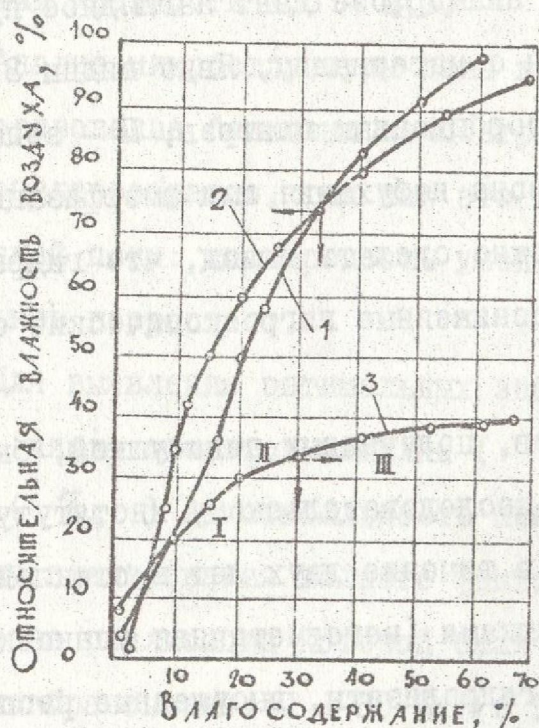


Рис. 3 Изотермы сорбции рыбного гидролизата полученного: 1, 3 - пеносушкой, 2 - распылением

где a и b - коэффициенты, учитывающие свойства материала, численные значения которых найдены из экспериментов и представлены

в таблице I.

Таблица I

Коэффициенты	Гидролизаты рыбы		Агаро-белковые основы-пеносушкой
	пеносушка	распыление	
α	2,727	3,39	4,532
β	1,036	1,036	1,026

Расчетанные по уравнению (1) и найденные из экспериментов данные хорошо согласуются, относительная погрешность измерений не превышает 3 %, что вполне приемлемо для инженерных расчетов.

В четвертой главе дан анализ результатов исследований кинетики процесса сушки гидролизатов и агаро-белковых основ во вспененном состоянии в конвективном аппарате в цилиндрическом слое пены.

Исследования основных закономерностей процесса сушки проводили с целью выявления количества переменных, области и интервала их варьирования, а также влияния их на интенсификацию процесса сушки.

Анализ кривых нагрева вспененного гидролизата, нанесенного на трос, показал, что пенослой в течение нескольких секунд прогревается в своей верхней поверхности до температуры мокрого термометра (t_m) и температура его кратковременно (в течение I мин) остается постоянной, что соответствует периоду постоянной скорости сушки, затем температура начинает интенсивно повышаться до температуры сухого термометра (t_c). Отмечено незначительное запаздывание в изменении температуры в глубине пенослоя, что свидетельствует о малой теплопроводности пены. Сложный механизм обезвоживания вспененного гидролизата

рыбы исследован Буйновым А.А. (МТИП), проводившем сушку пены на пластине.

Наши исследования показали, что высушивание пены на тросах более эффективно, чем на пластине: сокращается общая продолжительность процесса, уменьшается гигроскопичность. Это можно объяснить тем, что при высушивании на тросах продукт наносится на сушильную поверхность в виде макарон, что обуславливает значительно большую поверхность испарения, чем при слое уложенном на пластину. Продукт нанесенный на струны (трос) всесторонне омывается перпендикулярным током нагретого воздуха, в то время как на пластине имеет место в некоторой степени кондуктивный прогрев пены (ввиду высокой теплопроводности металла), который частично дестабилизирует пену. Пена в нижнем слое разрушается, наблюдается адгезия продукта к поверхности. При снятии такого продукта с пластины скребком, либо ножом нижний слой распыляется в виде мелкодисперсного порошка и пыли, что обуславливает повышенную гигроскопичность.

При высушивании пены в цилиндрическом слое на струнах указанные недостатки исключены, так как сушильная поверхность находится внутри влажного высушиваемого материала. Пена высушивается без разрушения структуры и полностью снимается с сушильной поверхности при обгибании тросом блока валов в виде крупных частиц пористого строения, что обуславливает снижение гигроскопичности продукта.

Влияние температуры на кинетику процесса сушки представлено на рис.4. Опытные данные свидетельствуют о том, что увеличение температуры от 80 до 120⁰С сокращает продолжительность сушки почти в два раза. Однако термолабильность биопрепаратов требует осторожного выбора температуры. При 120⁰С начинается

потемнение продукта, ухудшается растворимость, что свидетельствует об ухудшении качества.

На рис. 5 представлены кривые сушки при различной скорости сушильного агента. Из анализа кривых видно, что увеличение скорости сушильного агента интенсифицирует процесс сушки, однако выбор оптимального значения лимитируется особенностью сушильной поверхности. Нами установлено, что увеличение скорости более 5-6 м/с обуславливает "ошугивание" пены. Она ошугается с троса и провисает в виде пленок, что создает неравномерное высушивание.

Удельная нагрузка вспененного продукта q кг/м² оказывает влияние на интенсификацию процесса сушки. Однако выбор оптимального ее значения обусловлен равномерностью нанесения на сушильную поверхность вспененного продукта.

Нами установлено, что при сушке на тросах наиболее хорошие результаты получены при толщине пенного слоя $2,5 \div 3$ мм, что при кратности пенообразования $2 \div 2,5$ соответствует удельной нагрузке вспененного продукта $0,5 \div 0,7$ кг/м².

Анализируя характер кривых сушки можно сделать вывод, что они, несмотря на различие режимов, имеют однотипный характер. На всех кривых обнаруживается два периода: период постоянной и падающей скорости сушки. Границей между ними является точка с критическим влагосодержанием W^k . Продолжительность первого периода кратковременная, но за этот период удаляется значительное количество влаги. Установлена зависимость скорости сушки в первом периоде (N_I) от параметров (t, v, q):

$$N_I = 36 + 0,006 E \cdot v \cdot \rho \cdot \frac{F}{G_c}$$

(2)

к. 0. 13 785

Одесский технологический
институт пищевой промыш-
ленности им. М. В. Ломоносова

ВИБЕЛЛОТЕКА

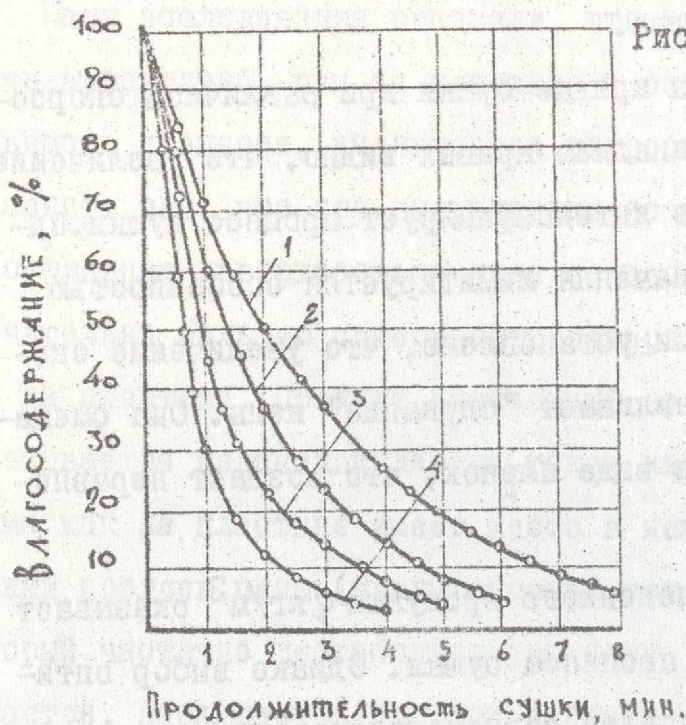


Рис.4

Кривые сушки гидролизата при стабилизированных параметрах

$$U = 3,4 \text{ м/с}$$

$$q = 0,5 \text{ кг/м}^2$$

и переменной температуре:

1 - 80°C

2 - 100°C

3 - 110°C

4 - 120°C

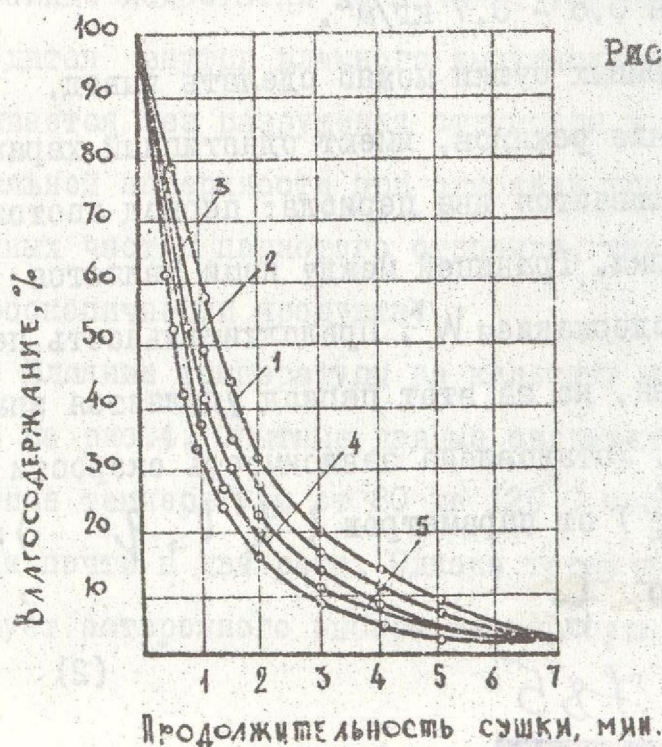


Рис.5

Кривые сушки гидролизата при стабилизированных параметрах:

$$t = 107^\circ\text{C}$$

$$q = 0,5 \text{ кг/м}^2$$

и различной скорости воздуха

1 - 1 м/с

2 - 2 м/с

3 - 4 м/с

4 - 6 м/с

5 - 7 м/с

Как видно из уравнения (2) скорость сушки в первом периоде прямо пропорциональна потенциалу сушки $t = t_c - t_m$, массовому расходу сушильного агента ($\rho \cdot V$) и обратно пропорциональна удельной нагрузке сухого материала на сушильную поверхность F/G где: t_c ; t_m - температура сухого и мокрого термометра; V - скорость воздуха м/с; ρ - плотность воздуха при данной температуре кг/м³; F - площадь сушильной поверхности м²; G_c - масса сухого материала кг.

Обработкой опытных данных по методу приведенной скорости получена зависимость для расчета продолжительности сушки белковых концентратов (гидролизатов, бульонов, агаро-белковых основ) во введенном состоянии до требуемого влагосодержания:

$$\tau_{cc} = \frac{1}{N_1} [(W_1 - W_k) + 56 (\sqrt{W_k - W_p} - \sqrt{W_2 - W_p}) - 3,4 (W_k - W_2)] \quad (3)$$

Расчитанная по уравнению (3) продолжительность сушки и найденные из экспериментов данные хорошо согласуются. Относительная погрешность измерений не превышает 7 %, что вполне приемлемо для инженерных расчетов.

Для выявления оптимальных значений t , V , g , обеспечивающих в сочетании минимальную продолжительность сушки, с учетом налагаемых ограничений, использовали матрицу планирования полного факторного эксперимента, ПФЭ 2³, на основе реализации которой было установлено, что оптимальные условия протекания процесса обеспечиваются при: $t = 110^\circ\text{C}$, $V = 3$ м/с, $g = 0,6$ кг/м².

Параметры прошли апробацию на опытно-промышленной установке, внедренной в институте питательных сред (ДАГНИИПЭС г.Махачкала).

В данном режиме высушены: гидролизаты (кильки, крови, казеина, кормовых дрожжей), агаро-белковые основы на поименован-

ных гидролизатах, многокомпонентные смеси (среда КОДА, СПА, магниевая среда), соли желчных кислот, охмеленное пивное сусло.

Исследования качества сухих продуктов по показателям физико-химического и бактериологического контроля показали, что все материалы отвечают требованиям регламента. Отмечена пониженная гигроскопичность всех продуктов высушенных в цилиндрическом слое пены на тросах по сравнению с теми же продуктами высушенными другими способами.

В пятой главе результаты экспериментальных исследований, опытные и расчетные зависимости использованы для практической реализации работы:

- предложен способ и рекомендуется технологическая карта сушки пюре и пастообразных белковых концентратов во вспененном состоянии, защищенные авторскими свидетельствами № 559092, № 763460, СССР;

- предложена конструкция аппарата для высушивания пюре и пастообразных материалов во вспененном состоянии, защищенная авторскими свидетельствами № 557244, № 800542, СССР; Опытно-промышленный образец аппарата внедрен на производстве;

- дано обоснование экономического эффекта при внедрении аппарата производительностью 34 кг/ч по сухому продукту.

ВЫВОДЫ

1. Впервые разработан и применен в практике способ сушки гидролизатов, агаро-белковых основ и других концентратов пюре и пастообразной консистенции в цилиндрическом слое пены.
2. Впервые разработана и применена в практике конструкция аппарата для высушивания пюре и пастообразных материалов с

сушильной поверхностью выполненной из отдельных струн
(трос $d = 2$ мм).

3. Разработано устройство для нанесения вспененного продукта на сушильную поверхность в виде струн, обеспечивающем сохранение пенной структуры и равномерное покрытие сушильной поверхности пеной.
4. Установлено, что при высушивания пены в цилиндрическом слое на сушильной поверхности в виде струн процесс значительно интенсифицируется по сравнению с сушкой на пластине, благодаря увеличению поверхности испарения и всестороннему омыванию продукта сушильным агентом перпендикулярно направленным к сушильной поверхности (тросу).
5. Экспериментально установлено, что :
 - а) для высушивания пены в цилиндрическом слое на сушильной поверхности в виде струн необходима стабильность пены не менее 30 мин;
 - б) оптимальные параметры, обеспечивающие требуемую стабильность пены для высушивания в цилиндрическом слое на струнах для гидролизатов, бульонов, агаро-белковых основ составляют : $c = 60 \%$ $n = 3500$ об/мин. T пенооб. = 6 мин;
 - в) равномерное нанесение пены на сушильную поверхность в виде струн из белковых концентратов обеспечивают пены с кратностью пенообразования $K = 1,5 \div 2,0$.
6. Найдены экспериментально и теоретически обоснованы оптимальные режимные параметры сушки, обеспечивающие минимальную продолжительность процесса при сохранении высокого качества продукта:

7. Исследованы гигроскопические свойства гидролизатов и агаро-белковых основ. Предложено аналитическое уравнение, описывающее изотермы сорбции распылительной и конвективной пено-сушки продукта в широком диапазоне относительной влажности (0,15 - 0,75)
- $$W_p = \alpha b^{\psi}$$

Экспериментально определены значения коэффициентов α и b

8. Исследованы закономерности процесса сушки гидролизатов, агаро-белковых основ во вспененном состоянии в конвективном аппарате с сушильной поверхностью в виде отдельных струн. На основании проведенных исследований получено уравнение продолжительности сушки :

$$\tau_d = \frac{1}{N_i} \left[(W_1 - W_k) + 56 (\sqrt{W_k - W_p} - \sqrt{W_2 - W_p}) - 3,4 (W_k - W_2) \right]$$

9. Экспериментально исследованы качественные показатели гидролизатов, агаро-белковых основ и многокомпонентной среды КОДА, полученных пеносушкой в цилиндрическом слое. Установлено, что все препараты отвечают регламентированным требованиям, как по показателям физико-химического, так и бактериологического контроля. Отмечено снижение гигроскопичности препаратов.
10. На основании проведенных исследований и производственных испытаний сушки пюре и пастообразных материалов во вспененном состоянии разработана техно-рабочий проект промышленного аппарата с сушильной поверхностью в виде струн, производительностью 34 кг/ час по сухому продукту и передая ВНИЭКИПРОДМАШ и ДАГНИИПИС для широкого внедрения.

Список публикаций

1. Способ приготовления сухих питательных сред / [Аминов М.С., Мерабашвили А.К., Казиахмедов М.Н. и др.] /. - Агт.свид. № 557092, СССР. Бюлл.изобр. № 17, 1977.
2. Сушилка для пастообразных материалов / [Аминов М.С., Мерабашвили А.К., Казиахмедов М.Н. и др.] /. - Авт.свид. № 557244, СССР. Бюлл.изобр. № 17, 1977.
3. Аминов М.С., Мерабашвили А.К., Османов С.Г., Садуллаев М.К. Некоторые закономерности кинетики конвективной пеносушки. Известия вузов СССР, "Пищевая технология", 1980, № 6, с.138-140.
4. Сушка гидролизатов кормовых дрожжей во вакуумном состоянии / [Аминов М.С., Мерабашвили А.К., Галимова П.Ш. и др.] /. - Гидролизное производство. Научно-технический реферативный сборник. М., 1979, № 7, с.14-16.
5. Сушилка для пастообразных материалов / [Аминов М.С., Мерабашвили А.К., Казиахмедов М.Н. и др.] /. - Авт.свид. № 800542, СССР. Бюлл.изобр. № 4 от 30.01.1981.
6. Высушивание питательных сред методом пеносушки / [Мерабашвили А.К., Алиев А.М., Галимова П.Ш., Садуллаев М.К.] /. - М., Передовой научно-производственный опыт в биологической промышленности. ВНИИТИ биопром эконпресс информация, 1979, № 4, с.10-15.
7. Мерабашвили А.К., Османов С.Г., Аминова Э.М. К вопросу статистики конвективной пеносушки. В сб. "Участие молодых ученых и специалистов республики в ускорении научно-технического прогресса и повышение эффективности общественного производ-

ства. - Махачкала: обком ВЛКСМ ДАССР, 1979, 31 с.

8. Мерабашвили А.К., Мамацаева Э.Б., Садуллаев М.К. Сравнение промышленных методов производства сухих бульонов и гидролизатов. В сб. "Научно-практическая конференция молодых ученых Дагестана. - Махачкала: Сов.Мин.ДАССР, 1979, ч. I, 120 с.
9. Способ получения сухих питательных сред / [Аминов М.С., Мерабашвили А.К., Гашимова П.Ш. и др.] /. - Авт.свид. № 763460, СССР. Бюлл. изобр. № 34, 1980.
10. Мерабашвили А.К., Аминов М.С., Османов С.Г. Способ получения сухого и пивного сула. - Авт.свид. № 800184, СССР. Бюлл. изобр. № 4 от 30.01.1981.
11. Мерабашвили А.К., Османов С.Г., Сыроедов В.И., Гигроскопические свойства рыбного гидролизата. - М., Рыбное хозяйство, 1980, № 12, с. 61-64.
12. Мерабашвили А.К., Османов С.Г. Устройство для нанесения вспененного продукта на отруны.
Положительное решение ВНИИПЭ по заявке № 2964491/23
05/116480 от 28.07.1980.

А. Мерабашвили