

Автор ер.
М 46

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ УССР

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

Молчанов А. К.

„Исследование сушки томатных, виноградных
и перцовых семян“.

Специальность 371 - технология консервирования
пищевых продуктов.

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук.

Одесса • 1971 г.

СМ

Министерство высшего и среднего специального
образования УССР

Одесский технологический институт пищевой
промышленности имени М. В. Ломоносова.

Аспирант А.К. Молчанов

"Исследование сушки томатных, виноградных
и перцовых семян".

Специальность 371 - технология консервирования
пищевых продуктов

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук.

ОНАХТ

13.09.12

Исследование сушки т



v011845

К.О. 11845

Переучет 1987

Одесский технологический институт пищевой промышленности имени М. В. Ломоносова

г. Одесса - 1971 г.

ВВЕДЕНИЕ.

Для успешного осуществления намеченных XXIV съездом КПСС экономических и социальных задач необходимо всемерно повышать эффективность общественного производства, добиваться ускорения темпов роста производительности труда во всех отраслях народного хозяйства. Задача состоит в том, чтобы наращивать выпуск продукции с каждой единицы основных фондов, увеличивать отдачу от вкладываемых средств, снижать материалоемкость и трудовые затраты, всемерно повышать качество продукции.

XXIV Съезд считает, что решающим условием повышения эффективности общественного производства является ускорение научно-технического процесса. Следует полностью использовать достижения науки и техники, неуклонно и планомерно осуществлять перевооружение всех отраслей народного хозяйства на основе современной высокопроизводительной техники.

В настоящей работе рассматривается комплекс вопросов, эмпирическое и аналитическое решение которых необходимо для разработки опытно-промышленных образцов сушильных установок.

Диссертация изложена в пяти главах. В них дано описание состояния вопроса об использовании вторичного сырья пищевых производств по литературным источникам, теоретические предпосылки аналитических решений, описание экспериментальных установок для изучения кинетики сушки, методики исследований, обработка полученных результатов и приведены результаты производственной проверки рекомендуемых режимов сушки.

Результаты опытов и обработка их обобщена в критериальной форме, получены критериальные уравнения тепло- и массообмена.

В работе большое внимание уделено прогрессивным способам сушки мелкодисперсного материала в кипящем слое. Исследован ряд вопросов по сушке семян, таких как усадка и объемная масса, температура материала в процессе сушки и влияние ее и времени хранения на качество масла.

В заключительной главе приведено сравнение результатов производственных опытов с лабораторными исследованиями, дана оценка возможной погрешности опытов и показан расчет сушильной установки для сушки семян с использованием осциллирующих режимов.

Одесский технологический институт пищевой промышленности им. М.В. Ломоносова направляет Вам для отзыва автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук А.К. Молчанова.

Отзыв на автореферат в двух экземплярах с подписью заверенной печатью учреждения, просим направить в Ученый Совет института.

Работа выполнена в Одесском технологическом институте пищевой промышленности им. М.В. Ломоносова, консервном комбинате в г. Херсоне и на кондитерской фабрике в г. Херсоне.

Научные руководители:

доктор технических наук профессор

Г.К. Филоненко

кандидат технических наук доцент

М.А. Гришин

Официальные опоненты:

доктор технических наук профессор

П.Н. Платонов

кандидат технических наук

С.Б. Иванченко

Ведущее предприятие — консервный комбинат
в г. Херсоне

Автореферат разослан "23" октября 1971 г.

Защита диссертации состоится "26" ноября 1971 г.

на заседании совета Одесского технологического института пищевой промышленности им. М.В. Ломоносова.

Просим Ваши отзывы в двух экземплярах направить по адресу:

г. Одесса 39, ул. Свердлова 112

отипд им. М.В. Ломоносова.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ученый секретарь совета

Л. Запорожец

Работа изложена на 183 страницах текста, содержит 23 таблицы и иллюстрирована 51 рисунком.

II. Постановка задачи исследований.

На предприятиях пищевой промышленности в результате принятых технологических процессов образуются большие количества отходов, ненужных основному производству, но ценных для других отраслей народного хозяйства.

Быстрое развитие консервной и винодельческой промышленности выдвигает задачу сохранения и использования вторичного сырья, в частности семян виноградных, томатных и перца сладкого, которые до настоящего времени почти не перерабатываются. Это положение объясняется тем, что семена, являясь продуктом скоропортящимся, требуют немедленной обработки, т.е. затрат определенного количества рабочего времени особенно ценного в сезонные периоды работы основного производства.

Одним из способов специальной обработки для длительного хранения семян является их сушка.

Необходимость срочной обработки большого количества семян с высокой начальной влажностью выдвигает задачу не только увеличения производительности существующих сушилок, совершенствование их с целью обеспечения эффективной и качественной сушки, но и разработку конструкций с прогрессивными способами сушки. Наряду с этим необходимо изучить кинетику сушки мелкодисперсных пищевых продуктов, с тем, чтобы обеспечить высокую производительность сушильных установок и сохранить пищевую ценность сушеного материала.

Ряд существенных достоинств сушки в кипящем слое: возможность применения высоких температур агента; сушка в разрыхленном состоянии; слой и энергичное перемешивание частиц; применение высоких удельных нагрузок на сетку; возможность полной автоматизации процесса и др. диктуют необходимость всестороннего и подробного изучения этого способа.

В связи с этим ставится задача, состоящая из комплекса исследований по следующим этапам:

I. Исследование влияния основных физических параметров агента сушки и характеристик материала на продолжительность процесса, при разных способах сушки / в насыпном и кипящем слое/.

2. Разработка метода расчета процесса сушки с использованием экспериментальных зависимостей, полученных в лабораторных условиях. Эти зависимости необходимы для проектирования новых сушильных установок и выбора рациональных режимов на существующих установках.

3. Изучение технологических особенностей семян томатов, винограда и перца сладкого: изменение усадки и объемной массы с изменением влажности; влияние температуры семян при сушке и времени хранения сушеных семян на качество масла.

4. Проверка полученных результатов исследований в производственных условиях на построенной для этой цели сушильной установке.

5. Разработка опытно-промышленного образца сушильной установки непрерывного действия для сушки семян в кипящем слое, способной работать в поточной линии консервного производства.

2. Обзор литературы.

В этой главе основное внимание уделено технико-экономическим вопросам использования вторичного сырья пищевых производств.

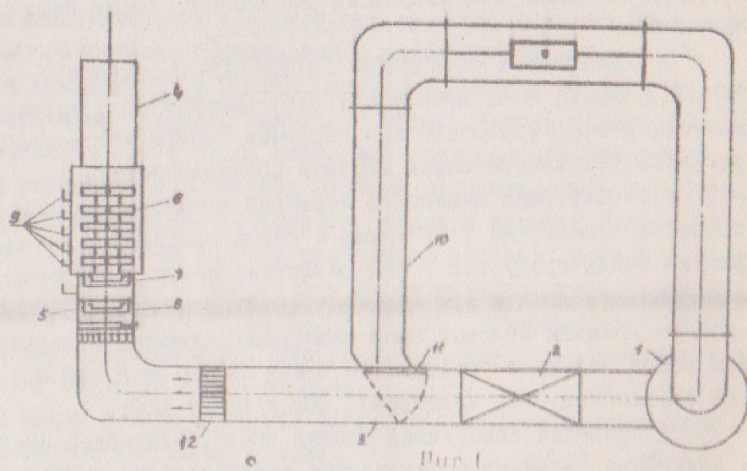
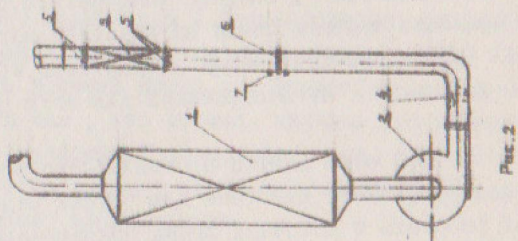
Советские и зарубежные авторы Я.М. Гольденберг, М.Т. Денщикова, В.Д. Чижов, О.С. Данченко, В.П. Вдовиченко, Муртки, Лал, Шурталекер и др. указывают на огромный резерв, заложенный в переработке вторичного сырья пищевой промышленности.

Рассмотрена пищевая и кормовая ценность отходов при переработке винограда, томатов и перца сладкого с точки зрения получения таких продуктов, как различные масла, этиловый спирт, винокаменная кислота и пр.

Показан валовой сбор винограда, томатов и перца, возможный выход семян и содержание в них масла за 8-10 прошедших лет по Украинской ССР, Молдавской ССР и Союзу СССР.

Приведен химический состав семян, физические свойства их и подробные сведения о химических особенностях масла и некоторых жирных кислот.

В этой же главе рассмотрены вопросы техники сушки пищевых продуктов и возможные пути интенсификации процесса. Здесь отмечены отличительные особенности сушки мелкозернистых



материалов на конвейерных, шахтных и барабанных сушилках существующих конструкций и указаны недостатки присущие им.

Дано описание способа сушки таких материалов в кипящем слое и обращено внимание на ряд преимуществ этого способа.

Здесь же указан ряд экспериментальных работ, теоретических обобщений сделанных разными авторами и опубликованных в литературе.

Особо отмечены работы А. В. Лыкова, П. Г. Романкова, И. М. Федорова по коэффициентам тепло- и массообмена, отмечены работы Н. А. Шаховой, И. Б. Рашковской, М. А. Гришина, А. С. Гинзбурга, Г. К. Филоненко, И. Ф. Пикуса, В. И. Жидко и др.

Проведенный обзор литературных сведений позволил конкретизировать основные направления работы.

3. Экспериментальные установки.

Глава 2-я - посвящена описанию экспериментальных установок, техника проведения опытов и методики обработки результатов.

Схема лабораторной установки для сушки семян в потоке воздуха перпендикулярном слою материала показана на рис. 1.

Центробежный вентилятор I засасывает воздух из помещения лаборатории и через электрический каллорифер 2 по воздуховоду прямоугольного сечения 3, подает его в вертикальную шахту 4.

Рабочая часть шахты разделена горизонтальными направляющими 5 на семь участков, в которые через дверцы 6 вводятся металлические сита 7 с исследуемым материалом.

В нижнем сите 8 помещены кусочки мрамора и воздух, проходя через этот слой, получает равномерное распределение скоростей по всему поперечному сечению канала.

до и после каждого сита размещены "сухие" и "мокрые" термометры 9, что позволяет определять потенциал сушки при входе и выходе агента из слоя.

Влажность семян определялась до начала опыта и в конце его путем досушивания параллельных проб в сушильном шкафу стандартным методом.

Семена загружались в сита, взвешивались вместе ситами и помещались в гнезда рабочей части установки.

Во время опыта сита с семенами периодически взвешивались на весах типа ВЦ с ценой деления 2 гр. Это позволило в дальнейшем рассчитать изменение влажности семян по времени процесса и построить кривые сушки.

Во время взвешивания сит, горячий воздух направлялся по обводному каналу Ю при помощи шибера II.

В горизонтальном участке воздуховода размещено направляющее устройство для распределения потока агента.

Скорость агента сушки измерялась при помощи острой диафрагмы, а потеря давления регистрировалась наклонным микроманометром типа ММН.

Температура горячего воздуха регулировалась путем включения различных секций электрокалорифера и контролировалась автотрансформатором ЛАТР-I и милливольтметром типа МРЦ-ПР-54.

Схема лабораторной установки для сушки в кипящем слое показана на рис. 2. Установка состоит из нагревательной камеры I, оборудованной электрическими спиралями, центробежного вентилятора Z и съемной рабочей камеры Б, представляющей собой прямоугольный стакан сечением 100 x 100 мм и высотой 400 мм. Передняя стенка стеклянная для визуальных наблюдений за поведением слоя материала, с нанесенными делениями для определения высоты слоя.

Торцевые плоскости камеры закрыты сетками, верхняя сетка съемная. Загрузка и выгрузка продукта производится через плоскость верхней сетки.

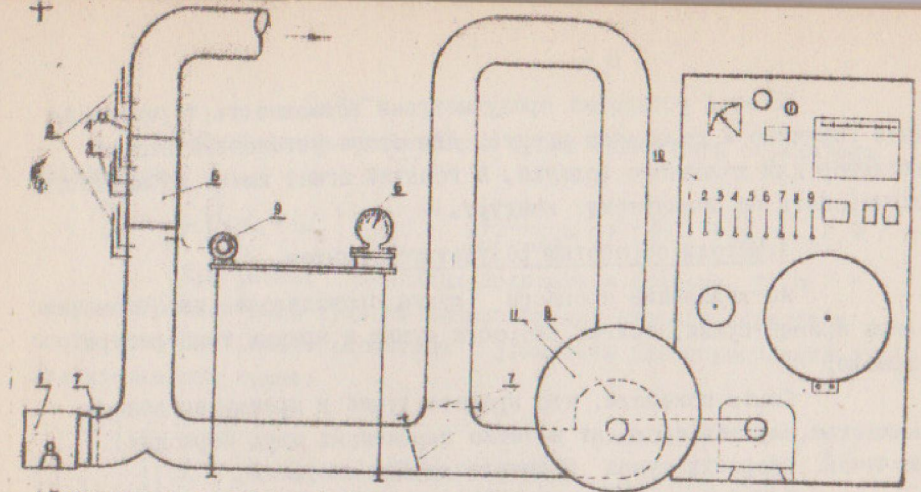
Камера установлена в разрыве вертикального воздуховода. Две спиральные пружины обеспечивают необходимую плотность прилегания камеры к фланцам воздуховода.

Лабораторная установка снабжена аналогичными измерительными приборами для определения физических параметров агента сушки.

Изменение массы семян определялось периодическим взвешиванием рабочей камеры вместе с семенами, а начальная и конечная влажность семян определялась досушиванием параллельных навесок в 5 гр. в сушильном шкафу стандартным методом.

Схема установки для сушки в кипящем слое при осциллирующем режиме показана на рис. 3.

Устройство этой лабораторной установки и оборудование ее контрольно-измерительной аппаратурой принципиально не отличается от описанных выше установок.



1-Вентилятор холодного воздуха
2-Термометры сухой и мокрой
3-Термометры замера температуры семян
4-Вушка подема пружин
5-Рабочий стакан
6-Весы
7-Шибера
8-Вентилятор горячего воздуха
9-Тягаломер
10-Дитт управления
11-Нагревательная камера

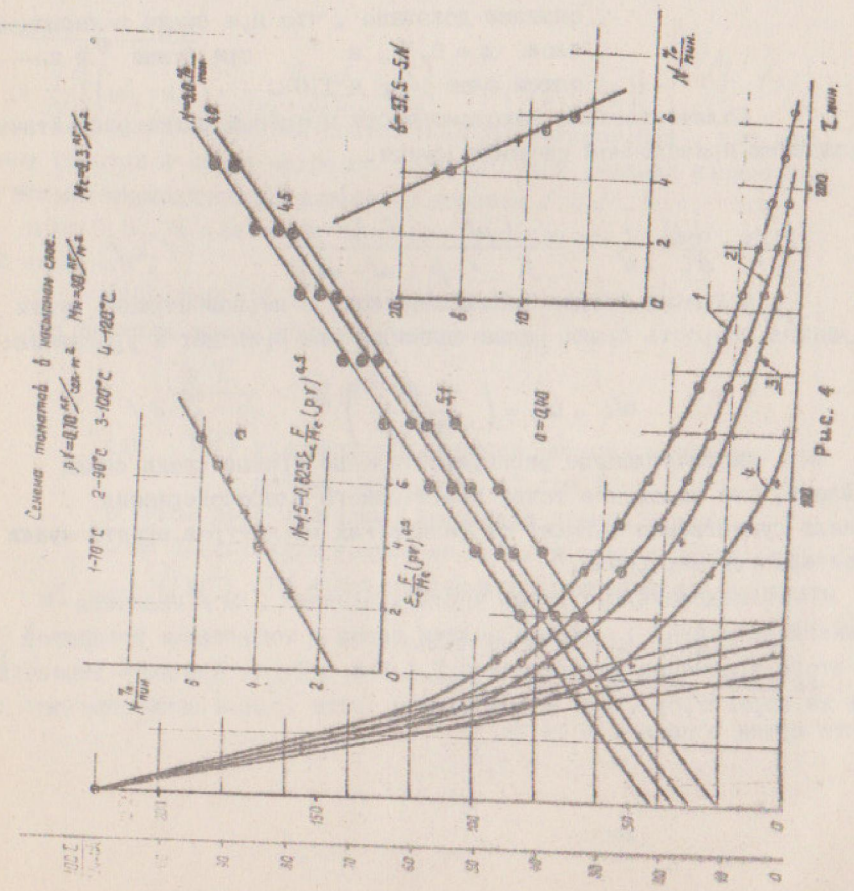


Рис. 4

Во время опыта сита с семенами периодически взвешивались на весах типа ИЦ с ценой деления 2 гр. Это позволило в дальнейшем рассчитать изменение влажности семян по времени процесса и построить кривые сушки.

Во время взвешивания сит, горячий воздух направлялся по обводному каналу Ю при помощи шиберов II.

В горизонтальном участке воздуховода размещено направляющее устройство для распределения потока агента.

Скорость агента сушки измерялась при помощи острой диафрагмы, а потеря давления регистрировалась наклонным микроманометром типа ММН.

Температура горячего воздуха регулировалась путем включения различных секций электрокалодифера и контролировалась автотрансформатором ЛАТР-I и милливольтметром типа МРЦ-ПР-54.

Схема лабораторной установки для сушки в кипящем слое показана на рис. 2. Установка состоит из нагревательной камеры 1, оборудованной электрическими спиралями, центробежного вентилятора 2 и съемной рабочей камеры 3, представляющей собой прямоугольный стакан сечением 100 x 100 мм и высотой 400 мм. Передняя стенка стеклянная для визуальных наблюдений за поведением слоя материала, с нанесенными делениями для определения высоты слоя.

Торцевые плоскости камеры закрыты сетками, верхняя сетка съемная. Загрузка и выгрузка продукта производится через плоскость верхней сетки.

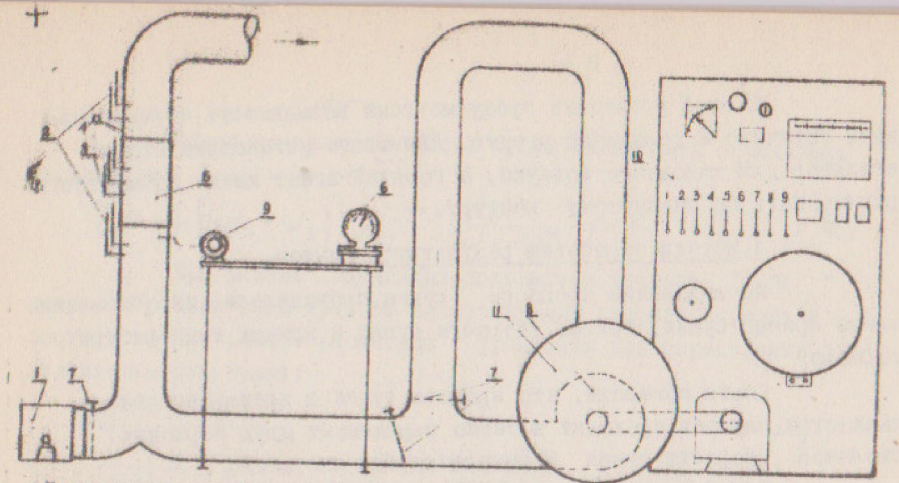
Камера установлена в разрыве вертикального воздуховода. Две спиральные пружины обеспечивают необходимую плотность прилегания камеры к фланцам воздуховода.

Лабораторная установка снабжена аналогичными измерительными приборами для определения физических параметров агента сушки.

Изменение массы семян определялось периодическим взвешиванием рабочей камеры вместе с семенами, а начальная и конечная влажность семян определялась досушиванием параллельных навесок в 5 гр. в сушильном шкафу стандартным методом.

Схема установки для сушки в кипящем слое при осциллирующем режиме показана на рис. 3.

Устройство этой лабораторной установки и оборудование ее контрольно-измерительной аппаратурой принципиально не отличается от описанных выше установок.



1-Вентилятор холодного воздуха
2-Термометры сухой и мокрой
3-Термометры замера температуры семян
4-ручка подвеса пружин
5-Рабочий стакан
6-Весы
7-Шибера
8-Вентилятор горячего воздуха
9-Тахометром
10-Центр управления
11-Нагревательная камера

Рис. 3

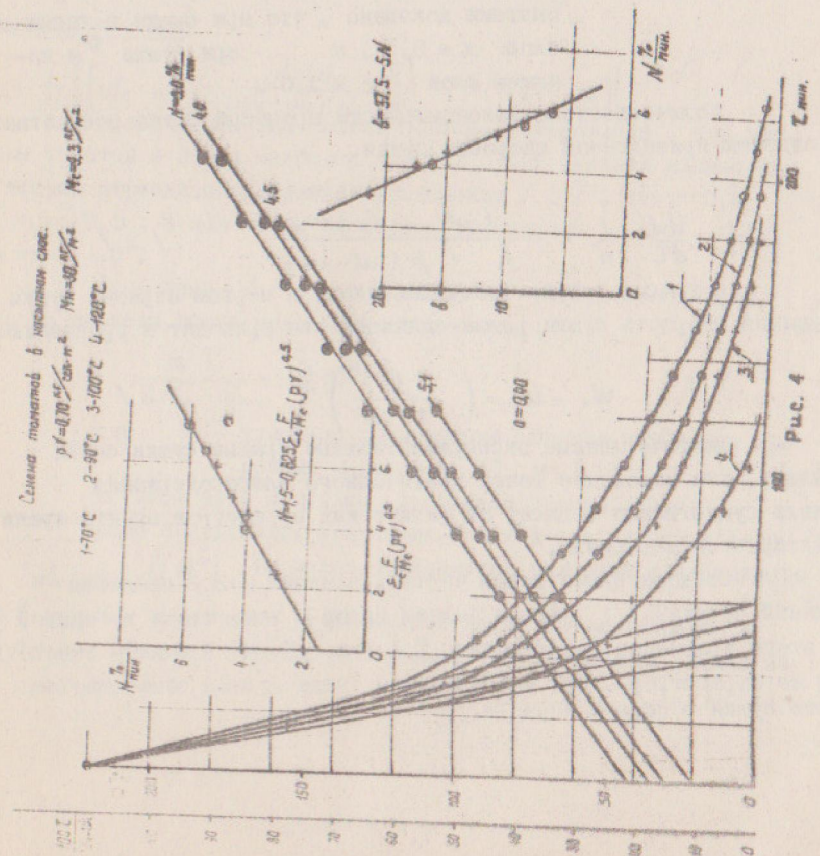


Рис. 4

В этой установке предусмотрена возможность чередования подачи горячего и холодного агента. Для этого установлен второй вентилятор для холодного воздуха, а горячий агент имеет возможность циркулировать по замкнутому контуру.

4. Методы обработки результатов опытов.

Исследование процесса сушки проводилось на основании анализа кривых сушки, кривых скорости сушки и кривых температуры материала.

Опыты показали, что процесс сушки в преимущественном большинстве случаев проходит в четко выраженных двух периодах: постоянной скорости сушки и уменьшающейся скорости.

Общий вид уравнения скорости сушки в первом периоде:

$$N = k \cdot \epsilon_{ср} \cdot (\rho v)^x \cdot \frac{F}{M_c} \cdot \frac{z}{\text{мин}} \quad / 1 /$$

здесь: x - показатель степени влияния массовой скорости сушки в первом периоде. Многими опытами доказано, что при сушке в насыщенном слое $x = 0,5$, а при сушке в кипящем слое $x = 1,0$.

Количественные закономерности процесса сушки рассчитаны по уравнению приведенной скорости сушки.

$$\psi = \frac{dw}{d\tau} \cdot \frac{1}{N} = \frac{(w - w_p)^m}{A + \beta (w - w_p)^m} \quad / 2 /$$

Согласно теории Г.К. Филоненко, в первом периоде сушки приведенная скорость сушки равна единице, что приводит к уравнению:

$$w_k - w_p = \left(\frac{A}{1 - \beta} \right)^{\frac{1}{m}} \quad / 3 /$$

Многочисленные экспериментальные кривые сушки семян показывают, что положение точек критического влагосодержания материала существенно зависит от физических параметров агента сушки и характеристик материала.

Следовательно левая часть уравнения / 3 / является переменной величиной; отсюда делаем вывод о том, что и в правой части этого уравнения коэффициенты "А" и "β" должны зависеть от тех же параметров, или в обобщенном виде должны зависеть от скорости сушки в первом периоде.

Общая продолжительность сушки может быть определена выражением:

$$\tau = \frac{1}{N} \left[(w_n - w_k) + A \int_{w_k}^{w_n} \frac{dw}{(w - w_p)^m} + \beta (w_k - w_p) \right] \quad / 4 /$$

При разных значениях показателя степени "m" получаем разные виды функции влажности для второго периода и соответственно разные расчетные уравнения для определения продолжительности сушки:

при $m = 0,5$ / 5 /

$$\tau = \frac{1}{N} \left[(w_n - w_k) + \frac{2A(w_k - w_p)}{(w_k - w_p)^{0,5} + (w_2 - w_p)^{0,5}} + \beta (w_k - w_p) \right]$$

при $m = 1,0$ / 6 /

$$\tau = \frac{1}{N} \left[(w_n - w_k) + 2,3A \lg \frac{w_k - w_p}{w_2 - w_p} + \beta (w_k - w_2) \right]$$

при $m = 2,0$ / 7 /

$$\tau = \frac{1}{N} \left[(w_n - w_k) + \frac{A(w_k - w_2)}{(w_k - w_p)(w_2 - w_p)} + \beta (w_k - w_2) \right]$$

Многочисленными нашими опытами установлено, что для семян томатов и перца наиболее близкой будет функция влажности во втором периоде, определяемая уравнением / 5 /, т.е. при $m = 0,5$, а для семян винограда уравнением / 6 /, т.е. при $m = 1,0$;

Уравнения / 5, 6 и 7 / после преобразования для второго периода сушки можно привести к виду:

$$\frac{N\tau}{w_k - w_2} = A M^m \beta \quad / 8 /$$

где M^m - условное обозначение решения интеграла при разных значениях "m".

В таком виде получаем уравнение прямой линии.

Если представить уравнение / 8 / в координатных осях

$$\frac{\tau}{w_k - w_2} = f(M^m), \text{ то можно определить условные коэффициенты}$$

"a", как тангенс угла наклона линии к оси абсцисс и "b" - , через отрезок отсекаемый продолжением линии на оси ординат.

После умножения значений "а" и "b" на скорость сушки в первом периоде "V" получим истинные значения коэффициентов "А" и "β".

Используя уравнения / 5, 6 и 7 / совместно с уравнением / 1 / нетрудно расчетным путем определить продолжительность процесса сушки при известных коэффициентах "А" и "β".

Принимая за основу изложенную здесь классическую теорию приведенной скорости сушки, считаем необходимым отметить, что конкретное применение ее в практике требует введения некоторых уточнений.

Мы считаем необходимым обратить внимание на следующие вопросы:

1/ В основных работах Г.К. Филоненко недостаточно четко указана прямая зависимость продолжительности процесса сушки во втором периоде от физических параметров агента сушки и характеристик материала.

2/ Рекомендации Г.К. Филоненко об отвлеченных постоянных коэффициентах "А" и "β" для условного нулевого слоя материала не логичны для применения его метода к сушке материала в свободном насыном и тем более в кипящем слое.

Эти коэффициенты переменны и зависят от режима сушки; параметров агента и характеристик материала.

3/ Следуя принятым указаниям теории приведенной скорости сушки трудно представить себе понятие о потенциале сушки. Эта величина линейно влияющая на скорость сушки в первом периоде не менее важна при определении продолжительности сушки и во втором периоде.

Нам представляется более целесообразным путь указанный В.К. Коссеком для определения среднего интегрального потенциала сушки за весь период процесса. Понятие введенное им в его диссертации соответствует реальному представлению о способности агента сушки поглощать влагу материала и величина его пропорциональна работе затрачиваемой агентом на удаление влаги.

4/ Основные трудности с которыми мы встречаемся, применяя метод Г.К. Филоненко при использовании расчетных уравнений, состоят / 5, 6 и 7 / в определении величин критического и равновесного влагосодержания.

а/ Критическое влагосодержание высоковлажных семян томатов, перца и винограда существенно зависит от начальной влажности и режима сушки. Это уточнено нами и установлена определенная зависимость W_k от скорости сушки в первом периоде.

б/ Равновесное влагосодержание весьма существенно влияет на абсолютное значение коэффициентов "А" и "β", определяющих продолжительность процесса сушки. Оба положения были доказаны в диссертации В.К. Коссека при сушке мелко-зернистых материалов.

Равновесное влагосодержание семян зависит от относительной влажности агента сушки и его температуры.

При температуре агента выше 100°C равновесное влагосодержание можно считать равным нулю.

В связи с этими положениями мы считаем целесообразным применить также и метод М.С. Смирнова и Н.Ф. Докучаева для обработки результатов опытов по сушке семян в насыном слое, в которых температура агента была менее 100°C. В этом случае равновесное влагосодержание не участвует в анализе результатов.

М.С. Смирнов и Н.Ф. Докучаев предложили количественно учитывать массу влаги фильтрующуюся через пористую структуру материала в процессе теплового воздействия агента. Это позволяет установить зависимость между массой удаляемой влаги или точнее между текущим влагосодержанием материала и продолжительностью процесса в виде:

$$W_2 = W_n - \frac{\tau}{k_0 \cdot d} \quad / 9 /$$

W_2 - переменное текущее влагосодержание материала в процессе сушки, во втором периоде,

W_n - начальное влагосодержание,

τ - продолжительность сушки,

k_0 - постоянный коэффициент для данного материала и его влагосодержания,

d - толщина слоя материала, фильтрующая влагу.

Обработка экспериментально полученных кривых сушки показала, что произведение "k₀ · d" можно достаточно точно заменить выражением $b + a\tau$, т.е. уравнение / 9 / принимает вид:

$$w_2 = w_n - \frac{\tau}{b + a\tau} \quad / 10 /$$

Преобразовывая это уравнение получим расчетное выражение для продолжительности процесса сушки:

$$\tau = \frac{b}{\frac{1}{w_n - w_2} - a} \quad / 11 /$$

здесь b и $\frac{1}{w_n - w_2} - a$ — константы для данного материала и режима сушки его.

Для определения этих констант уравнение / 10 / можно представить в виде:

$$\frac{\tau}{w_n - w_2} = b + a\tau \quad / 12 /$$

Это уравнение представляет собой линейную функцию от времени, а следовательно, график зависимости $\frac{\tau}{w_n - w_2}$ от τ

представляет собой прямую линию, по которой и определяются константы "а" и "b".

В результате проведенного анализа рассмотренных методов обработки экспериментального материала установлена последовательность графо-аналитических операций.

а/ При обработке по методу Г.К. Вилоненко.

1/ Семейства кривых сушки отличающиеся только одним каким-либо переменным параметром приводятся к одинаковому начальному влагосодержанию.

2/ Непосредственно по кривым сушки определяем скорость сушки в первом периоде. В некоторых случаях проводится графическое дифференцирование кривой сушки, откуда и определяется скорости сушки в первом периоде.

3/ По измеренным в процессе опытов величинам температур по "сухому" и "мокрому" термометрам на входе и выходе агента определяем средний интегральный потенциал сушки за весь период процесса.

4/ По средней интегральной температуре агента сушки на входе и выходе из сушилки определяем величину массовой скорости. $\rho v \frac{kg}{m^2 \cdot сек}$

5/ Подсчитываем величину обратную удельной массовой нагрузки по массе сухих семян.

6/ Графически строим зависимость скорости сушки первого периода N от симплекса величин $\epsilon_{cp} \rho v \cdot \frac{F}{M_c}$, по которой определяем коэффициент испарения.

7/ Графически строим зависимость $w_k = f(N)$, по которой определяется вид расчетной формулы.

8/ Графическая зависимость $\frac{\tau}{w_n - w_2} = f(w)$ позволяет определить коэффициенты "а" и "b", а после умножения их на "N" — коэффициенты "А" и "β".

Функция влажности $f(w)$ во втором периоде сушки определяется для семян томатов и перца при $m = 0,5$, а для семян винограда при $m = 1,0$.

Равновесное влагосодержание принималось равным нулю /при $t \approx 100^\circ C$ / и этот метод применялся при обработке результатов опытов при сушке в кипящем слое и при осциллирующем режиме.

9/ Графически определяется зависимость коэффициентов "А" и "β" от N и устанавливается окончательный вид расчетных формул / см. 5 и 6 /.

б/ При обработке по методу М.С. Смирнова и

И.Ф. Докучаева.

Операции 1, 2 и 3 остаются теми же.

В операции 4 определяется величина $(\rho v)^{a_0}$, что обычно применяется для сушки в насыпном слое.

Операции 5, 6 и 7 остаются без изменения.

далее строится зависимость $\frac{\tau}{w_n - w_2} = f(\tau)$ и

определяются коэффициенты "а" и "b".

Для обобщения результатов опытов по разным семействам кривых сушки устанавливается зависимость коэффициентов "а" и "b" от скорости сушки в первом периоде, в выражение которой входят все параметры режима сушки.

5. Результаты исследований и обобщение их.

Влияние основных физических параметров агента сушки и

характеристик материала на продолжительность процесса при разных способах сушки рассматривается в главе III-й. Опыты проводились при разных параметрах и группировались в семействах кривых с одним переменным параметром.

Сушка семян производилась в плотном насыпном слое, в кипящем слое с постоянной подачей агента сушки и в кипящем слое при осциллирующих режимах.

В этих трех сериях было проведено свыше 150 опытов о изменении физических параметров агента сушки и характеристик материала в очень широком диапазоне.

Изменение температуры агента от 70°C до 120°C и соответственно потенциала агента от 26°C до 69°C, при сушке в насыпном слое с изменением температуры через 10°C.

При сушке в кипящем слое температура агента изменялась от 70°C до 180°C и соответственно средний интегральный потенциал агента изменялся от 28°C до 116°C с изменением температуры через 10°C.

В насыпном слое семена томатов и винограда сушились при двух массовых скоростях агента $\rho v = 0,7$ и $1,5 \frac{кг}{м^2}$ при нагрузке $30 \frac{кг}{м^2}$ поверхности сетки.

В кипящем слое сушка семян проводилась при постоянной скорости агента $v = 5,0$ м/сек., обеспечивающей устойчивый режим кипящего слоя. Удельная нагрузка семян изменялась в диапазоне от 20 до 120 $\frac{кг}{м^2}$.

а/ Сушка семян в насыпном слое.

В качестве примеров приводим некоторые семейства кривых сушки и обработку их.

На рис. 4 показано семейство кривых сушки семян томатов в насыпном слое.

Обработка таких кривых позволила установить зависимости:

$$N = 1,50 + 0,625 \epsilon_c (\rho v)^{0,5} \cdot \frac{F}{M_c} \cdot \frac{\%}{мин} \quad / 13 /$$

$$w_k = 200 - 12,5 N \% \quad / 14 /$$

Общий вид расчетной формулы для определения продолжительности процесса сушки:

$$\tau = \frac{37,5 - 5,0 N}{\frac{100}{220 - w_k} - 0,40} мин \quad / 15 /$$

Формула / 15 / полностью справедлива только при начальном влагосодержании семян томатов $w_n^c = 220\%$.

При других значениях начального влагосодержания следует вводить поправку:

$$\Delta \tau = \frac{w_n^c + w_g}{N} мин \quad / 16 /$$

$w_n^c = 220\%$ - начальное расчетное влагосодержание,

w_g - действительное влагосодержание семян,

N - скорость сушки в первом периоде, рассчитывается по выражению / 13 /.

Поправка $\Delta \tau$ прибавляется ко времени сушки, определяемому по уравнению / 15 / в том случае когда

$w_g > w_n^c$. В последнем случае следует убедиться, что $w_g > w_k$ которое определяется по выражению / 14 /.

Отмечаем простоту полученного расчетного уравнения / 15 / Здесь кроме постоянных величин входит только влагосодержание до которого желательно сушить семена и величина скорости сушки в первом периоде, зависящая от всех физических параметров агента сушки: температуры, относительной влажности, массовой скорости и характеристики семян томатов по нагрузке.

Критическое влагосодержание не является постоянной величиной, существенно зависит от режима сушки.

Результаты сушки семян винограда в насыпном слое частично иллюстрируются рис. 5.

Для таких семян получено:

$$N = 0,50 + 1,25 \epsilon_c \frac{F}{M_c} (\rho v)^{0,5} \cdot \frac{\%}{мин}$$

$$w_k = 120 - 13,35 N \%$$

$$\tau = \frac{2,30 - 0,34 N}{\frac{10}{120 - w_k} - 0,077} мин \quad / 17 /$$

Уравнения справедливы при:

$$\epsilon_c = 27 \div 54^\circ C; \quad \rho v = 0,7 \div 1,50 \frac{кг}{м^2 сек}; \quad \frac{M_c}{F} = 13,5 \frac{кг}{м^2}$$

б/ Сушка семян в кипящем слое.

Обработка результатов опытов по сушке семян томатов в кипящем слое позволила установить

следующие зависимости:

$$N = 2,0 + 0,80 \varepsilon_c \cdot \rho v \cdot \frac{F}{M_c} \frac{\%}{\text{мин}}$$

$$W_k = 170 - 9,45 N \%$$

$$A = 55 - 2,27 N; \quad \beta = 0,105 N - 4,40 \quad / 18 //$$

Уравнения справедливы при:

$$\varepsilon_c = 36^\circ\text{C} + 110^\circ\text{C}; \quad \rho v = 4,1 + 5,4 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{сек}}; \quad \frac{M_c}{F} = 6,0 + 35,0 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2}; \quad W_n = 170 \%$$

Расчетное уравнение для продолжительности сушки см. выражение / 5 / .

Для сушки семян винограда в кипящем слое получены следующие эмпирические зависимости:

$$N = 5,0 + 0,575 \varepsilon_c \rho v \frac{F}{M_c} \frac{\%}{\text{мин}}$$

$$W_k = 120 - 3,53 N \%$$

$$A = 130 - 5,55 N; \quad \beta = 0,423 N - 11,0 \quad \bullet / 19 /$$

Расчетное уравнение см. выражение / 6 /

Уравнения справедливы при:

$$\varepsilon_c = 28 \div 116^\circ\text{C}; \quad \rho v = 4,0 \div 5,5 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{сек}}; \quad \frac{M_c}{F} = 6,0 \div 60,0 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2}; \quad W_n = 120 \%$$

Опыты по сушке семян сладкого перца в кипящем слое позволили установить:

$$N = 4,0 + 0,96 \varepsilon_c \cdot \rho v \frac{F}{M_c} \frac{\%}{\text{мин}}$$

$$W_k = 300 - 3,90 N \%$$

$$A = 295 - 3,43 N; \quad \beta = 0,155 N - 21,5 \quad / 20 /$$

Расчетное уравнение см. выражение / 5 /

Уравнения / 20 / справедливы при:

$$\varepsilon_c = 37 \div 112^\circ\text{C}; \quad \rho v = 4,3 \div 5,1 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{сек}}; \quad \frac{M_c}{F} = 4,1 - 21,8 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2}; \quad W_n = 300 \%$$

в/ Сушка семян при осциллирующих режимах.

Метод сушки в кипящем слое позволяет применять высокие температуры и скорости агента, что приводит к значительному сокращению времени сушки. Однако при интенсивной подаче большого количества тепла даже высоковолажные материалы непрерывно

повышают свою температуру, что приводит к перегреву, а иногда и порче продукта.

Известно, что движение влаги в материале является следствием:

1/ перепада влажности материала с направлением градиента в сторону уменьшения влажности, т.е., от центральных областей к поверхностным слоям материала.

2/ перепада температуры материала с направлением градиента от поверхности к центру.

При обычном, непрерывном способе сушки, действие этих двух факторов имеет противоположное направление и, следовательно, градиент температуры снижает скорость удаления влаги из материала.

Попытка использовать градиент температуры привела к прерывистому, чередующемуся / осциллирующему / режиму сушки.

Если в процессе сушки прекратить подачу горячего агента и заменить его холодным воздухом, то температура на поверхности материала понизится и станет меньше температуры в центре отдельно взятого кусочка / зерна или семечка / материала.

При этом градиент температуры получает обратное направление и совпадает с направлением градиента влажности.

Кратковременное воздействие горячего агента на материал и последующая замена его холодным воздухом позволяет применять высокие температуры без опасения перегрева термочувствительного материала.

Возможность использования семян томатов, сладкого перца и винограда для посевных целей приводит к мысли о применении осциллирующего режима сушки.

В нашей работе были исследованы следующие параметры сушильного процесса:

- 1/ Температура горячего агента от 100^oC до 190^oC и соответственно потенциал его от 60^oC до 118^oC.
- 2/ начальная удельная нагрузка семян от 20 до 90 кг/м².
- 3/ температура охлаждающего воздуха 20^oC.
- 4/ периоды осциллирования были 2 x 2; 4 x 4 и 6 x 6 мин.
- 5/ скорость горячего воздуха 4,0 м/сек.
- 6/ скорость охлаждающего воздуха 1,6 м/сек.

Анализ кривых сушки и обработка их позволили установить частные зависимости скорости сушки в первом периоде от отдельных параметров.

к. 11845

Одесский технологический институт пищевой промышленности им. М. М. Сидорова

Так получено:

Семена томатов: $N = 0,19 E - 0,5$ / 21 /

Семена винограда: $N = 0,187 E - 5,0$

Семена перца: $N = 0,34 E + 4,2$

Семена томатов: $N = 1,8 + 97 \frac{E}{M_c}$

Семена винограда: $N = 1,8 + 235 \frac{E}{M_c}$ / 22 /

Семена перца: $N = 335 \frac{E}{M_c} - 1,5$

Обобщенная зависимость N от параметров агента получена в виде:

Семена томатов: $N = 1,05 E_c \rho \nu \frac{E}{M_c} - 2,0 \frac{\%}{мин}$

Семена винограда: $N = 0,658 E_c \rho \nu \frac{E}{M_c} - 8,0 \frac{\%}{мин}$ / 23 /

Семена перца: $N = 1,725 E_c \rho \nu \frac{E}{M_c} - 10,0 \frac{\%}{мин}$

Обработка нескольких семейств кривых сушки во втором периоде показала, что с практически достаточной точностью можно применять расчетные формулы для продолжительности процесса сушки при осцилляции с теми же коэффициентами "А" и "Б", что и при непрерывной подаче агента сушки.

Одновременно с исследованием кинетики сушки проводились измерения температуры нагрева семян при помощи термопар и термометрами в слое. Эти измерения показали, что достаточно высокая интенсификация процесса сушки при ограничении температуры нагрева семян величиной 40°C может быть получена при чередовании подачи горячего и холодного воздуха интервалами 2 x 2 мин. при температуре агента до 150°C.

Отдельным разделом в III-й главе диссертации сделано обобщение результатов опытов в критериальной форме.

Здесь отмечены необходимые и достаточные условия подобия тепловых процессов, а в результате анализа их показано, что не все условия возможно выполнить.

На лабораторных установках условия геометрического подобия обычно выполняются легко, сохранение условий подобия движения вызывает значительные трудности, а подобие физических параметров: ρ , μ , λ , c_p и др. осуществляется лишь в некоторых исключительных случаях.

В связи с этим указано, что лабораторные исследования процессов достоверно характеризуют только качественную сторону физического процесса.

Для получения точных количественных характеристик необходимо определить коэффициенты, учитывающие масштабный эффект.

Использовать переходными коэффициентами наиболее удобно, когда основные решения представлены в форме уравнений, связывающих специфические обобщенные переменные, так называемые критерии подобия.

Критериальные уравнения обладают той особенностью, что они представляют собой безразмерные связи величин, определяемых условиями задачи / аргументы /, либо неизвестных величин, подлежащих определению / функции /. В последнем случае важно, чтобы критериальные уравнения подобия - функции были составлены из определяющих критериев - аргументов и однозначно характеризовали критерий - функцию.

В этой части работы подробно рассмотрены критерии - функции Нуссельта для внешнего тепло- и массообмена, критериальные уравнения Нестеренко для испарения со свободной поверхности жидкости и др.

Отмечены работы Ю.И. Гавказова, Шеперда, Хедлоука, Бревера по сушке песка, как классического капиллярно-пористого материала.

Приведены примеры критериальных зависимостей, полученные А.В. Лыковым, П.Д. Лебедевым, С.И. Цеколдиным, Б.И. Пятачковым, Ю.Г. Бришвым и др.

Анализ работ разных исследователей в этом направлении приводит к выводу о том, что в настоящее время можно получить критериальные уравнения справедливые только для первого периода сушки.

В диссертации разработаны и подробно описаны схемы расчета массообменных и теплообменных критериев Нуссельта.

По этим схемам выполнены расчеты критериальных зависимостей, результаты которых представлены в следующей таблице:

Коэффициенты:	Семена		Перец		Винограда	
	α	α'	N_{α}	N_{α}'	N_{α}	N_{α}'
Томатов	$270 + 200 \rho \nu$	$1,10 + 0,77 \rho \nu$	$1000 + 0,144 Re$	$1100 + 0,164 Re$		
Перца	$310 + 200 \rho \nu$	$1,25 + 0,77 \rho \nu$	$200 + 0,068 Re$	$200 + 0,076 Re$		
Винограда	$350 + 200 \rho \nu$	$1,40 + 0,77 \rho \nu$	$320 + 0,034 Re$	$320 + 0,044 Re$		

Технология сушки семян.

В главе IV диссертации рассмотрены некоторые вопросы технологического характера.

1. Усадка и объемная масса слоя семян.

Здесь отмечено, что процесс усадки происходит неодинаково у разных материалов.

Из литературных источников известно, что например, глина уменьшает свои линейные размеры только до определенного критического влагосодержания.

Такие материалы как дерево и уголь дают усадку только по достижении критического влагосодержания, а некоторые материалы уменьшают свои линейные размеры в течение всего процесса сушки.

Уменьшение линейных размеров неизбежно приводит к изменению объема материала и зависит от влажности его.

Опыты с семенами томатов, винограда и перца показали, что коэффициент объемной усадки можно определить по уравнению:

$$G_v = \frac{V - V_c}{V_c} \cdot \frac{100}{W} \quad / 24 /$$

Коэффициент объемной усадки зависит от плотности материала, поэтому изменение объема следует правильно относить к массе сухого вещества. Массовый коэффициент усадки можно выразить:

$$G_m = \frac{V - V_c}{M_c} \cdot \frac{100}{W} \quad / 25 /$$

Наши исследования показали, что семена уменьшают свои размеры в течение всего процесса, имеют линейную зависимость между объемной массой и влажностью и подчиняются уравнению:

$$M_s = M_c + k W^c \quad / 26 /$$

Результаты опытов приведены в таблице:

Семена	M_c	k	G_v	$G_m \cdot 10^2$
Томатов	210	1,85	0,88	0,419
Винограда	430	4,28	0,251	0,153
Перца	130	0,90	0,70	0,588

2. Температура материала в процессе сушки.

В этом разделе отмечена необходимость тщательного изучения скорости нарастания температуры материала в зависимости от температуры и продолжительности воздействия горячего агента сушки, что необходимо для выбора оптимальных режимов сушки.

Здесь подробно дано описание первых классических работ А.В. Ликова, раскрывающих физическое представление о механизме движения влаги внутри материала и доказывающих наличие диффузии влаги за счет температурного градиента.

Рассмотрены и проанализированы работы Г.К. Милонанко, утверждающие, что разность температур агента сушки и материала в процессе изменяется пропорционально приведенной скорости сушки.

Отмечены также работы В.И. Жидко и В.К. Коссека по практическим методам определения температуры зерновых и крупнобобовых материалов в насыпи.

Наши измерения температуры материала производились обычными термометрами в насыпи при отсутствии подачи горячего агента и показывали температуру поверхности семян и межзернового пространства.

В работе показана возможность определения средней температуры семян расчетным путем по уравнению:

$$T_{cp} = t - \frac{\epsilon_r (w_r - w_s - w_p)}{N \cdot C} \cdot C \quad / 27 /$$

Достаточно близкие расчетные и измеренные величины температуры материала получены нами для многих опытов.

В таблицах показаны примеры расчета средней температуры семян и для сравнения приведены непосредственно измеренные по опытам.

а/ Семена томатов

Опыт №-19. $t = 100^\circ C$; $\epsilon_r = 58^\circ C$; $w_r = 70\%$; $N = 10,3 \frac{\%}{мин.}$

$T_{мин}$	$w_s \%$	$w_r - w_s$	$\frac{\epsilon_r (w_r - w_p)}{N \cdot C}$	$T_{расчет}^\circ C$	$T_{измерено}^\circ C$
30	18	52	9,8	90,2	92,0
40	10	60	8,5	91,5	93,0
50	5,5	64,5	7,2	92,8	94,5
60	4,5	65,5	6,2	93,8	95,5

б/ Семена винограда.

Опыт №-68. $t = 140^{\circ}\text{C}$; $\epsilon_c = 77^{\circ}\text{C}$; $w_k = 85\%$; $N = 10,0\%$
мин.

τ мин.	w_2 %	$w_k - w_2$	$\epsilon_a \frac{(w_k - w_2)}{N \tau}$	$\nu^{\circ}\text{C}$ расчет	$\nu^{\circ}\text{C}$ измерено
20	16	5300	26,5	113,5	117,0
25	12	5600	22,4	117,6	120,5
30	9	5880	19,5	120,5	122,0
35	6,5	6030	17,2	122,8	124,0
40	5,0	6160	15,4	124,6	126,0

Формулу / 27 / рекомендуется применять только для второго периода сушки и особенно для конечных этапов процесса.

В работе приводятся таблицы показывающие нарастание температуры семян при осциллирующих режимах сушки с разными интервалами чередования подачи горячего агента и холодного воздуха.

Интервалы чередования приняты одинаковыми:
2 x 2 мин; 4 x 4 мин. и 6 x 6 мин.

Установлено:

1/ У менее влажных семян средняя температура их увеличивается быстрее, чем у высоковлажных.

2/ У менее влажных семян в периоды охлаждения средняя температура остается более высокой, чем у высоковлажных.

3/ Более длительные периоды осциллирования приводят у увеличению средней температуры семян.

В конце этого раздела приведены сведения о динамике снижения средней температуры семян при холодной продувке.

Экспериментальные кривые характеризующие динамику снижения средней температуры семян при холодной продувке были построены по зависимости:

$$\frac{100 \tau}{\nu_n - \nu_2} = f(\tau)$$

что позволило получить расчетное уравнение, например, для семян перца сладкого в виде:

$$\nu_2 = \nu_n - \frac{100}{\frac{6}{\tau} + a} \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

/ 28 /

здесь:

при $\nu_n = 75^{\circ}\text{C}$	$a = 1,28$	и	$b = 2,8$
$\nu_n = 100^{\circ}\text{C}$	$a = 0,60$	и	$b = 4,2$
$\nu_n = 125^{\circ}\text{C}$	$a = 0,36$	и	$b = 4,0$

Формула справедлива в интервале времени холодной продувки от 1 до 6 минут.

3. Влияние температуры агента сушки и времени хранения сушеных семян на качество масла.

С целью исследования этих вопросов были проведены три серии специальных опытов по сушке семян / томатов, винограда и перца / в кипящем слое при разных температурах агента сушки от 70°C до 180°C с интервалами через 10°C .

Во всех опытах скорость агента была 5 м/сек. и одинаковая удельная нагрузка $60 \text{ кг} / \text{м}^2$.

В семенах до и после сушки определяли кислотное число масла и из каждой партии отбирали по 2 кг сушеных семян. Отобранные пробы укладывали в полиэтиленовые мешочки и завязывали для уменьшения поступления воздуха. В такой таре семена хранили от 2-х до 5 месяцев при температуре воздуха $20 + 22^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности $55 + 70 \%$.

Кислотное число масла определяли по ГОСТу 5476-64 и число омыления масла по ГОСТу 5478-64.

Извлечение масла из семян производили очищенным серным эфиром с температурой кипения $85,6^{\circ}\text{C}$ в аппарате Окслета.

В результате опытов было установлено:

Томатные семена.

Кислотное число масла до сушки	3,1
" " " " после сушки при разных температурах от	3,2 + 3,4
" " после 2-х месяцев хранения	3,5 + 3,8
" " " " 4-х " " "	3,4 + 4,3

Виноградные семена.

Кислотное число масла до сушки	2,93
" " " " после сушки при разных температурах	3,0 + 3,2
Кислотное число масла после 5-ти месяцев хранения	3,4 + 4,2
Число омыления после 5-ти месяцев	178 + 192.

Семена перца сладкого.

Кислотное число масла до сушки	2,80
" " " после сушки	3,2 + 3,5
" " " " 2-х месяцев хранения	3,6 + 3,8
" " " " 4-х месяцев хранения	4,4 + 4,6

Из приведенных данных можно заключить, что кислотное число с повышением температуры агента сушки изменяется незначительно.

Кислотное число масла сухих семян несколько увеличивается в процессе длительного хранения, однако остается в пределах стандарта. Число омыления масла семян практически не изменяется в процессе сушки и хранения.

Органолептических изменений в сушеных семенах и изменения влажности не наблюдалось.

В результате был сделан вывод о возможности применения высоких температур агента сушки в кипящем слое и возможность достаточно длительного хранения сушеных семян без ухудшения качества.

7. Производственные опыты и практические рекомендации.

Глава У диссертации содержит сведения о результатах производственных опытов на сушильной установке полупромышленного типа, построенной на Херсонском консервном комбинате.

Принципиальная схема этой сушилки показана на рис. 6.

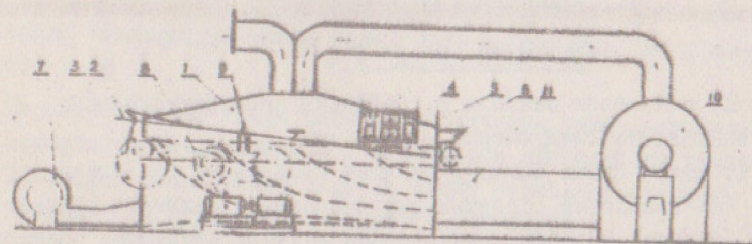
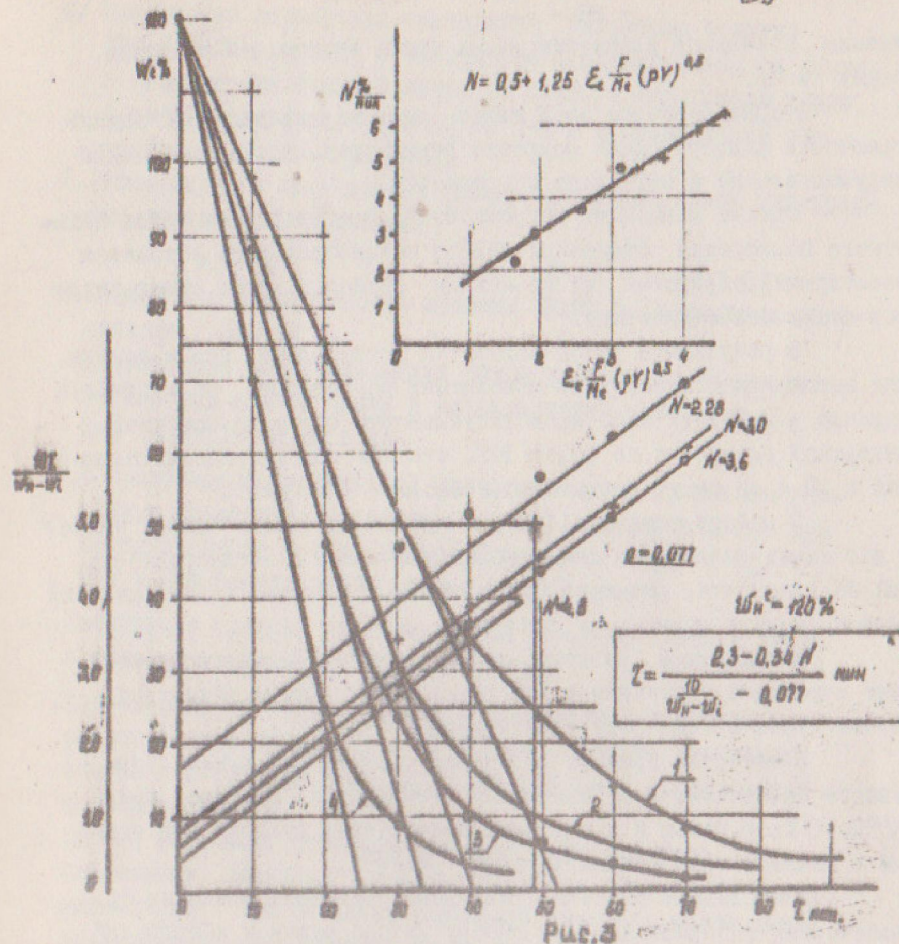
На этой установке сушили семена в насыпном слое, в кипящем слое и при осциллирующих режимах.

Опытная проверка сушки семян проводилась в течение 2-х сезонов при разных режимах и способах сушки.

Сравнение результатов производственной сушки с лабораторными опытами выполнено путем совмещения кривых сушки построенных при одинаковых режимах сушки.

В работе приведены кривые сушки разных семян и при разных режимах и способах сушки, которые подтвердили выводы сделанные на основе лабораторных исследований.

В качестве практических рекомендаций в работе приведены указания о технологических операциях подготовки семян: тщательной протирки на протирочных машинах, мойка с удалением кожицы и мякоти.



- 1-сушильный камера
- 2-механизм переключения заслонки
- 3-цепная передача
- 4-щит управления
- 5-заслонка
- 6-загрузочный бункер
- 7-вентилятор холодного воздуха
- 8-привод сушилки
- 9-термометр сухой и мокрый
- 10-вентилятор горячего воздуха
- 11-электродвигатель

Рис. 6

снижению начальной влажности семян путем отжима на винтовых прессах и пр.

Вторым разделом этой главы являются сведения об оценке погрешности опытов. Здесь подробно рассмотрены возможные личные, инструментальные и случайные погрешности.

Оценка возможных погрешностей производилась путем пятикратного повторения отдельных опытов на лабораторной установке и последующей обработке их по методу Лехандра через сумму квадратов отдельных отклонений.

В результате такой обработки установлено, что в кривых сушки наблюдалась наибольшая абсолютная погрешность по влажности материала $\pm 2,0\%$; а по продолжительности сушки до конечной стандартной влажности не более 10%, что при общей продолжительности сушки в 30 + 40 минут составляло всего 3 + 4 минуты.

В работе отмечено, что в группе случайных ошибок наибольший вес имеет различие в самом материале сушки: неоднородность семян по влажности, различие помолологических сортов, геометрический размер семян и степень их зрелости.

В следующем разделе этой же главы приведен подробный расчет сушильной установки с использованием опытных данных по кинетике сушки и температуре материала.

В качестве примера рассчитана сушилка для сушки семян посевного назначения с ограничением температуры нагрева семян до 40°C. С этой целью и предложена конструкция сушилки для сушки семян в кипящем слое с осциллирующим режимом.

В последнем разделе этой главы приведены сведения об экономических соображениях по выбору метода сушки и конструкции установки.

В Н В О Д Ы.

На основании анализа и обобщения экспериментальных данных, установлено следующее:

- I. Способ сушки семян в кипящем слое имеет ряд преимуществ по сравнению с изученными способами, является прогрессивным способом, значительно интенсифицирующим процесс;
 - а/ Удельная нагрузка материала при сушке в кипящем слое достигала 100 кг / м², тогда как при сушке в неподвижном слое нагрузка составляла 20 кг / м².

- б/ Применение повышенных температур нагретого воздуха 170-180°C приводит к сокращению продолжительности сушки, а возможности быстрой сушки до низкого содержания влаги в высушенном продукте порядка 1-2 % с сохранением качества конечного продукта.
 2. Рекомендуемые оптимальные режимы сушки для семян виноградных, томатных, перцовых:

$$\frac{M}{F} = 20 \frac{кг}{м^2}; \quad t_{1,1}^k = 150^\circ C; \quad E = 98^\circ C; \quad V = 5 \frac{м^3}{сек}.$$
 3. Полная продолжительность времени сушки определяется уравнениями / 5, 6, 11 /.
 4. Критическое влагосодержание семян зависит от физических параметров агента сушки и характеристик материала. См. 14, 17, 18, 19, 20 и др.
 5. С практически достаточной точностью можно применять расчетные формулы для продолжительности процесса сушки при осциллировании с теми же коэффициентами "Д" и "Л", что и при непрерывной подаче агента сушки.
 6. Увеличение частоты осциллирования ускоряет процесс сушки и снижает температуру нагрева семян.
 7. Характеристики тепло- и массообмена получены в виде критерийных зависимостей и позволяют обобщить результаты опытов и осуществить переход от модельных исследований к производственным.
 8. Семена уменьшают свои размеры в течение процесса сушки, существует линейная зависимость между объемом насыпи и влажностью. При снижении влажности насыпная масса семян уменьшается. Расчет можно вести по уравнению / 26 /.
 9. Средняя температура семян может быть определена по уравнению / 28 /.
 10. Кислотное число масла семян с повышением температур сушки изменяется незначительно. В процессе длительного хранения кислотное число масла сушеных семян несколько увеличивается, но остается в пределах стандарта. Число омыления масла семян в процессе сушки и хранения практически не изменяется.
- II. Совмещение кривых сушки одинаковых режимов, полученных в производственных и лабораторных условиях, показывает

полное совпадение экспериментальных кривых и расчетных точек, что свидетельствует о возможности применения полученных формул для проектирования промышленных установок.

12. Погрешность опытов по влажности материала составляла $\pm 2\%$, по продолжительности сушки не более 10%.

Основное содержание работы опубликовано в следующих статьях:

1. М. А. Гришин, А. К. Молчанов "Интенсификация сушки виноградных семян", "Виноградарство и виноделие СССР", № 5, 1967.

2. А. К. Молчанов "Влияние температуры сушки и времени хранения на качество виноградных семян", Известия высших учебных заведений. Пищевая технология, № 4, 1969.

3. М. А. Гришин, А. К. Молчанов "Исследование процесса сушки семян томатов и перца в кипящем слое при осциллирующем режиме", Консервная и овощесушильная промышленность № 10, 1969.

4. М. А. Гришин, А. К. Молчанов "Сушка виноградных семян в кипящем слое при осциллирующем режиме", Садоводство. Виноградарство и виноделие Молдавии № 10, 1969.

Сообщения на конференции по теме диссертации:

1. "Сушка виноградных, томатных, перцовых семян",

Всесоюзная межвузовская конференция по термическим методам обработки при консервировании пищевых продуктов, тезисы докладов, 1969.

Подписано в печать 14-X-71 г. Б0-02550

формат 60x84 1/16

Сектор копировально-множительной печати облисполкома,

18-X-71 г. зак. 598

тир. 200