

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ**  
Украинский Государственный Университет пищевых технологий

На правах рукописи

**РОЖКО Вячеслав Степанович**

**Исследование кинетики процесса сушки яблок  
с использованием газоразрядных ламп.**

Специальность 05.18.12 -  
Процессы, машины и агрегаты  
пищевой промышленности

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

Киев - 1994



AB 31.686

Работа выполнена в Техническом Университете Молдовы

- Научные руководители - доктор технических наук,  
профессор И.Ф.Малезик;
- кандидат технических наук,  
доцент А.С.Лупашко;
- Официальные опоненты - доктор технических наук,  
профессор А.Ф.Буляндра;
- доктор технических наук,  
Ю.Ф.Снежкин.

Ведущая организация - Кишиневский консервный завод

Защита состоится "25" января 1995 г. в 14 часов на заседании специализированного Совета Д 068.17.04 Украинского Государственного Университета пищевых технологий по адресу: 252017, Киев, ул.Владимирская 68, корпус А, аудитория 311.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Государственного Университета пищевых технологий.

Автореферат разослан "23" декабря 1994 г.

Ученый секретарь  
специализированного Совета к  
андидат технических наук, доцент

Н.И.Сороколит

4В - 31.686

## ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Актуальность темы.**

В условиях приобретения независимости в республике Молдова большое значение имеет увеличение объема производства аграрного сектора, имеющего приоритетную значимость в товарообороте со странами СНГ. В связи с этим предусматривается значительное увеличение производства фруктов, являющихся сырьем для пищевой промышленности.

Большая часть фруктов перерабатывается пищевой промышленностью в высококачественный сушеный продукт, который является традиционным полуфабрикатом для приготовления компотов в зимнее время.

В связи с дальнейшим расширением производства сухофруктов, повышением требований к их качеству и совершенствованием технологии производства появляется необходимость в разработке новых способов сушки плодов, обеспечивающих высокое качество готового продукта, автоматизацию, механизацию и значительную интенсификацию процесса сушки.

В настоящее время сушка яблок осуществляется в основном конвективным методом, имеющим ряд существенных недостатков: большую длительность сушки, неравномерный прогрев продукта по толщине слоя, низкую производительность сушильных установок, громоздкость их конструкции, низкое качество высушенных яблок и др.

Определенные перспективы для устранения этих недостатков открывает способ сушки яблок комбинированным методом конвекции с применением газоразрядных ламп (ГРЛ).

В настоящее время процесс сушки яблок с использованием газоразрядных ламп не изучен.

В связи с этим проведение исследований в области кинетики процесса сушки яблок комбинированным методом с использованием ГРЛ является актуальной народно-хозяйственной задачей, имеющей большое прикладное значение.

### **Цель и задачи исследования.**

Целью исследования является теоретический анализ и экспериментальное исследование кинетики процесса сушки яблок комбинированным способом - конвекция с применением ГРЛ, работающих в режиме кратковременных импульсных разрядов, получение исходных данных для проектирования сушилки для яблок с применением газоразрядных ламп.

В соответствии с вышеуказанным были поставлены следующие задачи:

1. Проанализировать и определить способ использования газоразрядных ламп в процессах сушки.
2. Исследовать кинетику процесса сушки яблок при различных способах подвода тепла: конвективном, комбинации конвективного с применением ГРЛ.
3. На основе экспериментальных исследований кинетики процесса сушки яблок с применением ГРЛ разработать конструкцию установки для термической обработки яблок с применением ГРЛ.

### **Научная новизна:**

- доказана и обоснована возможность использования ГРЛ в области интенсификации процессов сушки плодов;
- исследована кинетика процесса сушки яблок различными способами энергоподвода: конвективным, сочетанием конвекции и ГРЛ;
- получены эмпирические зависимости для определения волючины относительной скорости сушки в разных периодах процесса сушки яблок;
- исследована зависимость времени процесса сушки яблок от напряжения на электродах лампы и расстояния лампы до поверхности облучения;
- определены режимные параметры процесса сушки яблок с использованием ГРЛ для обеспечения высокого качества выпускаемой продукции и сокращения продолжительности процесса;
- определена экономическая эффективность комбинированного способа сушки.

### **Практическая ценность.**

На основе теоретических и экспериментальных исследований разработана новая технология и установка для сушки яблок комбинированным способом подвода тепла - конвекцией и ГРЛ. Предлагаемая установка позволит

сократить длительность процесса сушки, увеличить выход готового продукта, осуществить автоматизацию ведения процесса сушки, улучшить качество готового продукта.

#### **Реализация работы.**

Разработанная установка для сушки яблок внедрена на Кишиневском консервном заводе республики Молдова.

#### **Апробация работы.**

Основное содержание работы было доложено на НТК Технического университета Молдовы (бывший КПИ им. С.Лазо) (Кишинев, 1989-1994г.), 6-ой Всесоюзной НТК (Москва, 1989г.), Республиканской НТК (Киев, 1989г.), 2-ой Всесоюзной НТК (Харьков, 1990г.), международной НТК (Кишинев, 1993г.), конференции, посвященной 30-летию образования ТУМ (Кишинев, 1994г.).

#### **Публикации.**

По теме диссертации опубликовано 11 работ, в т.ч. два авторских свидетельства.

#### **Структура и объем работы.**

Диссертация состоит из введения, семи глав, выводов, списка использованной литературы, включающего наименования 162 отечественных и зарубежных источника и приложения.

Основное содержание работы изложено на 127 страницах машинописного текста.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

В первой главе "Современное состояние техники и технологии сушки яблок" представлены основные положения современной теории тепло- и массопереноса в процессе сушки материалов с использованием лучистой энергии. Эти положения определены исследованиями А.В. Лыкова, П.Д. Лебедева, А.С. Гинзбурга, И.А. Рогова, В.В. Красникова и др.

Проанализированы особенности конструкции и принципа действия установок для сушки яблок, дана оценка перспективности развития таких сушильных установок.

Отмечено, что наибольшее распространение получили гелиосушилки - в условиях мелких и фермерских хозяйств и конвективные - в условиях

промышленного производства. Были сделаны попытки, в частности КТИПП, использования ИК-лучей.

Однако, все типы сушилок, применяемых для сушки яблок обладают рядом существенных недостатков:

1. Неравномерность прогрева материала, вследствие чего одна часть плодов не досушивается, другая пересушивается.

2. Большая продолжительность процесса сушки, что ухудшает качество готового продукта.

3. Сложность конструкции сушилок.

4. Большие потери

5. Наличие больших рабочих площадок для сушки.

6. Затруднена механизация и автоматизация процессов.

Указаны основные направления совершенствования технологии и техники сушки яблок, а именно:

I. Усовершенствование применяемых технологий и оборудования.

II. Разработка новой технологии и оборудования для сушки яблок.

Указано, что наряду с традиционными методами подвода тепла в последнее время все большее внимание уделяется высокоинтенсивным, таким как нагрев в условиях сильных видимых электромагнитных полей, работающих в импульсном режиме, т.е. использование ГРЛ.

Представляется перспективным использование этого метода в комбинации с более дешевым методом, таким как конвекция.

Вторая глава посвящена вопросу определения возможности использования ГРЛ как источника электромагнитных волн для интенсификации технологических процессов.

ГРЛ является источником сильного светового импульса. Поэтому даны основные представления электромагнитной теории света. Основоположителем электромагнитной теории света является Д.К. Максвелл. Согласно этой теории, свет - корпускулярное и волновое перемещение электромагнитного поля. При этом, электромагнитные явления могут быть объяснены с помощью механического действия, передаваемого от одного тела к другому через посредство среды, находящейся в пространстве между телами.

И.Е. Таммом доказано, что световые волны, излучаемые ГРЛ, представляют собой частный случай электромагнитных волн и отличаются от невидимых электромагнитных волн лишь своей частотой или длиной волны.

Световой импульс в ГРЛ является результатом пробоя, возникающего в межэлектродном пространстве лампы. Пробои делятся на пять видов. Наибольшее прикладное значение для современных импульсных газоразрядных ламп имеет пробой, представляющий собой появление устойчивого основного разряда в газовой среде между основными электродами в результате нарастания лавинной ионизации при импульсных вторичных разрядах на электродах.

Импульсные лампы обычно представляют собой стеклянную (или кварцевую) колбу с впаянными в нее электродами, наполненную инертным газом. Большинство современных ГРЛ наполнены ксеноном, так как он дает наиболее высокую световую отдачу.

Существуют два основных типа ГРЛ: трубчатые и шаровые.

Приведена классификация ГРЛ в зависимости от различных факторов: конструкции, вида наполнителя, давления в колбе и т.д.

Даны основные параметры ГРЛ. В частности отмечается, что ГРЛ характеризуются теми же световыми или лучистыми, электрическими, энергетическими, геометрическими и эксплуатационными параметрами, что и источники стационарного действия. Наряду с этим дополнительно вводят параметры, специфические для ГРЛ. К их числу следует отнести зависимости мгновенных значений величин от времени в течение импульса, максимальные значения измеряемой величины в течение импульса (сила тока, мощность излучения и т.п.), длительность импульса для различных величин, интегральные значения величин за время одной вспышки, частота вспышек и др.

Рассмотрено современное состояние развития и основные области применения ГРЛ. Отмечено, что в настоящее время выпускаются типы ГРЛ в зависимости от рода выполняемой оптической задачи. Всего таких родов для импульсных ламп пять.

Основной областью применения ГРЛ является искусственное освещение. ГРЛ используются также и в фотоосветительной аппаратуре, кинематографии и телевидении, лазерах и мазерах (в качестве оптической накачки), в приборах передачи информации (маяки, аэродромные огни, самолетные бортовые огни и т.д.) и др.

В третьей главе дан анализ некоторых физико-химических, технологических и других характеристик яблок как объекта сушки. Отмечено, что плоды яблок относятся к семейству разноцветных. Они состоят из кожицы, мякоти, семенного гнезда, чашечки, углублений.

Для сушки используют кислые и кисло-сладкие сорта летних, осенних и зимних сортов яблок.

В качестве объекта сушки были использованы яблоки сортов "Пепин лондонский" и "Джонатан", как наиболее распространенные в условиях Молдовы.

Яблоки, как объект сушки, согласно классификации А.В. Лыкова следует отнести к коллоидным капиллярно-пористым телам. Их коллоидная структура обусловлена содержанием белков.

В плодах яблок содержится до 86 % влаги. Для анализа характера связи влаги с материалом используют, в основном, термографический метод М.Ф. Казанского и метод сорбции и дисорбции. На основании полученных А.И. Чуприной изотерм сорбции и дисорбции выявлено, что для яблок характерно наличие влаги с физико-химической и физико-механической связью. Таким образом, удаление влаги из плодов яблок может осуществляться различными способами. В частности, для удаления капиллярно связанной влаги, обладающей физико-механической связью, можно использовать механический способ (прессование, центрифугирование). Удаление же адсорбционно связанной влаги достигается в большей степени тепловым способом (испарение).

Дан химический состав яблок и его изменение при температурном воздействии. Как известно, температурное поле, как правило, отрицательно действует на продукт.

Расчет любого теплового процесса, каким является сушка, а также его оптимизация во многом зависят от знания теплофизических характеристик плодов. К ним относятся теплоемкость  $c$ , теплопроводность  $\lambda$  и температуропроводность  $a$ .

Для определения этих характеристик предложен ряд формул. Так как яблоки представляют собой сложную гетерогенную систему, состоящую из смеси различных компонентов, то значения теплофизических характеристик продукта в целом, естественно, зависят от значений характеристик отдельных составляющих.

Анализ предложенных формул показал, что наиболее близка к реальным условиям формула В.З. Жадана:

$$c = 4190 + 3,35n_x + 1,25n_0 - 27,65n \quad (1)$$

Если содержание жиров и белков в продукте незначительно, то формула (1) упрощается:

$$c = 4190 - 27,65n \quad (2)$$

Теплопроводность яблок при сушке определяется по формуле (при  $0,24 < W < 0,76$ ):

$$\lambda = 0,033 + 0,0565W + 0,411W^2 \quad (3)$$

По данным А.С. Гинсбурга и М.А. Громова коэффициент температуропроводности для яблок в процессе сушки выражается формулой (при  $0,24 < W < 0,76$ ):

$$a = (1,24 + 7,02W) \cdot 10^{-3} \quad (4)$$

Для проведения различных видов расчета, а также выявления оптимальных условий режимов переработки плодов необходимо обладать информацией об их структурно-механических свойствах. Это, в первую очередь, пластичность, вязкость, напряжение, временное сопротивление при сжатии и т.д.

А.В. Горбатовым предложена эмпирическая формула для определения временного сопротивления при сжатии яблок. Формула имеет вид:

$$\sigma_n = a \cdot 10^{-b} \quad (5)$$

Коэффициенты  $a$  и  $b$  могут быть приняты равными соответственно 2,14 и 0,0048.

В связи с использованием ГРЛ для интенсификации процесса сушки большое значение имеет знание оптических характеристик плодов яблок.

Все газоразрядные лампы (ГРЛ) являются, как отмечено выше, источником световых электромагнитных импульсов. Качественная картина спектров полного излучения импульсного разряда на протяжении всей вспышки раскрыта в работах И.С. Маршака и Г.Н. Рохлина.

Установлено, что максимальная доля энергии, излучаемой большинством типов ГРЛ, лежит в спектре инфракрасного излучения.

Поэтому следует обратить внимание на оптические характеристики плодов в области инфракрасных длин волн при обработке их ГРЛ.

Для анализа оптическим характеристикам плодов, таким как: спектральные коэффициенты отражения (отражательная способность)  $R_\lambda$ , пропускания

(пропускательная способность)  $K_{\lambda}$ , поглощения (поглощательная способность)  $A_{\lambda}$  и коэффициент экстинкции (ослабление луча)  $S$ . Знание этих характеристик необходимо для обоснования выбора ГРЛ-излучения, определения его мощности, глубины воздействия излучения и др.

Выявлено, что для сушки яблок излучением наиболее целесообразной является область спектра 1,2-2,5 мкм с оптимальной температурой "серого" источника 1800 °С и  $\lambda_{\text{max}} = 1,6$  мкм, так как в этой области спектра для яблок значение спектрального коэффициента отражения минимальное, значение спектрального коэффициента поглощения максимальное и проникновение ИК-излучений наибольшее.

Представлены основные требования, предъявляемые к показателям сушеных яблок. Высушенные яблоки сцениваются по отдельным видам, т.е. вид сухофруктов с указанием сырья, из которого они изготовлены и тары, в которую они расфасовываются, а также по качественным показателям.

В четвертой главе представлено описание экспериментальной установки для исследования кинетики процесса сушки яблок. Отмечается, что исследование проводилось на установке, позволяющей сушить яблоки различными способами энергоподвода: конвективным и сочетанием конвективного с ГРЛ.

Установка для сушки (рис.1) состоит из сушильной камеры, системы воздухообеспечения, в которую входит вентилятор, электрокалорифер и воздуховоды, систем автоматического регулирования температуры воздуха и измерения убыли массы продукта в течение процесса сушки.

Для исключения погрешностей при регистрации убыли массы в условиях действия сильных импульсных электромагнитных полей в наших исследованиях были применены механические весы типа ВНЦ-200. Чувствительность весов составляла  $\pm 2$ г/дел, точность взвешивания -  $\pm 5\%$ .

Подложка с высушиваемым материалом подвешивалась к весам специальными подвесками.

Температура материала измерялась хромель-копелевой термопарой, горячий спай которой устанавливался непосредственно внутри высушиваемого образца. Показывающим и записывающим прибором служил потенциометр типа КСП-4М.

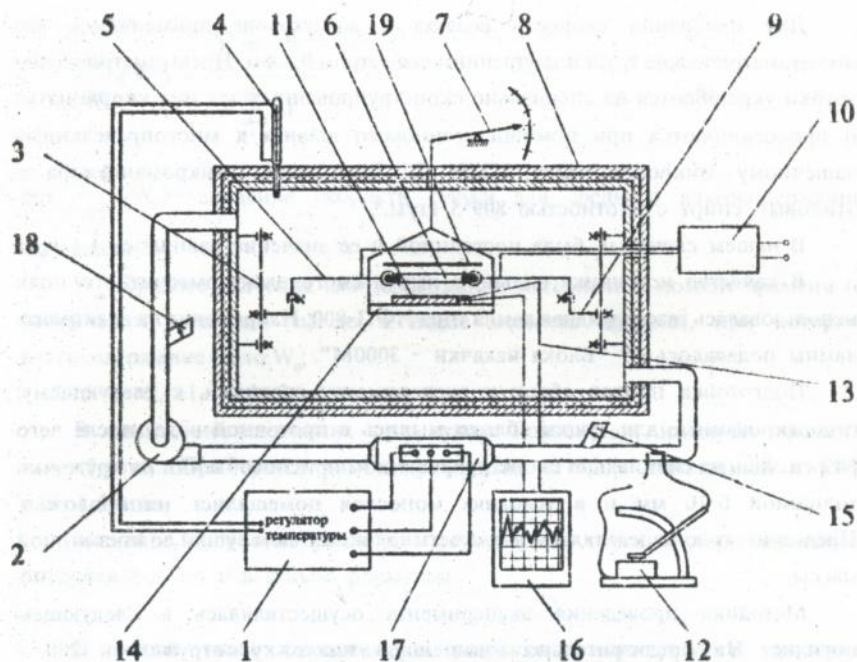


Рис.1. Установка для сушки.

- 1- регулятор температуры;
- 2- центробежный вентилятор;
- 3- вертикальная планка;
- 4- контактный термометр;
- 5- вилка крепления лампы;
- 6- газоразрядная лампа;
- 7- механические весы;
- 8- рабочая камера;
- 9- штатив;
- 10- блок накачки;
- 11- продукт;
- 12- микроманометр;
- 13- термопара;
- 14- перфорированная подложка;
- 15- патрубок;
- 16- потенциометр КСП-4М;
- 17- электрокалорифер;
- 18- патрубок;
- 19- зеркальный отражатель.

Для измерения скорости воздуха в воздуховоде применялись две пневмометрические трубки внутренним диаметром 0,8 мм. Пневмометрические трубки укрепляются на специально сконструированных для них координатах и присоединяются при помощи резинового шланга к многопредельному чашечному микроманометру ММН 7. Заполнитель микроманометра - этиловый спирт с плотностью  $809 \cdot 5 \text{ кг/м}^3$ .

В нашем случае  $v_c$  была постоянной и ее значение равнялось 1,1 м/с.

В качестве источника сильного импульсного электромагнитного поля использовалась газоразрядная лампа типа ИФП-800. Напряжение на электродах лампы подавалось от "Блока накачки - 3000М".

Подготовка плодов яблок к эксперименту сводилась к следующему: отсортированные для сушки яблоки мылись в проточной воде, после чего разрезались на специально сконструированном приспособлении на кружочки толщиной 6-16 мм и в условиях монослоя помещались на подложке. Предварительно определялась влажность яблок методом сушки до постоянной массы.

Методика проведения эксперимента осуществлялась в следующем порядке. На предварительно взвешенную подложку загружалось 200 г нарезанных кружочками яблок. Загруженная подложка помещалась в сушильную камеру и подвешивалась к весам посредством специальных подвесок.

На расстоянии 20 мм до поверхности яблок над подложкой помещалась ГРЛ, закрепленная в фокусе эллипсоидного отражателя. После чего начинал в камеру подаваться горячий воздух, а через определенный интервал времени происходил разряд ГРЛ, - таким образом начинался процесс сушки.

В процессе сушки яблок конвективным методом и сочетанием его с ГРЛ измерение убыли массы происходило непрерывно. Процесс сушки считался законченным, если содержание влаги в яблоках достигло 14 %. Конечная масса готового продукта определялась заранее расчетным путем.

По полученным данным в процессе опытов были построены кривые сушки  $W = f(\tau)$  и температур  $t = f(\tau)$ .

Кривые скорости сушки  $\frac{dW}{dt} = \phi(W)$  строились по точкам, полученным путем дискретного дифференцирования табулированной функции  $W = \phi(\tau)$  по формуле:

$$\frac{dW}{d\tau}(W_0) = \frac{\sum_{m=-p}^p m \cdot W_m}{n \sum_{m=-1}^1 m^2} \quad (6)$$

где  $\frac{dW}{d\tau}(W_0)$  - значение скорости сушки для среднего влагосодержания материала  $W_0$ ;

$W_m$  - среднее значение влагосодержания материала в момент времени (с интервалом времени  $n$ ) до и после момента времени, при котором влагосодержание было  $W_0$ ;

$$m = -2, -1, 0, 1, 2.$$

В наших исследованиях при сушке конвекцией интервал времени  $n = 5$  мин. При сушке комбинированным методом конвекцией и ГРЛ  $n = 1,5$  мин.

Значение скорости сушки для двух первых точек и двух последних определялось по известным формулам.

В пятой главе представлены результаты исследования кинетики процесса сушки яблок. Полученные результаты исследований процесса сушки яблок при конвективном подводе тепла (рис.2) и при сочетании конвективного подвода тепла с газоразрядными лампами (рис.3) выявили, что плоды яблок являются сложным органическим продуктом. Поэтому обоснование метода сушки для таких случаев необходимо проводить с учетом всех особенностей, присущих данному виду продукта.

Исследования показали, что наиболее продолжительным является процесс сушки при конвективном подводе тепла. Так продолжительность обезвоживания яблок от влажности 85 % до 14 % при конвективном подводе тепла (рис.2.а) при температуре сушильного агента 100 °С составила 95 мин, а при сочетании с ГРЛ при интервале времени между импульсами 5 с, напряжении на электродах лампы 1800 В и той же температуре сушильного агента составила уже 27 мин (рис.3.а.). Как видно, использование ГРЛ сокращает продолжительность сушки яблок более, чем в 3,5 раза по сравнению с чисто конвективной сушкой. Даже при самом меньшем значении напряжения на электродах лампы  $U = 1200$  В и температуре сушильного агента 80 °С время было получено уменьшение продолжительности процесса сушки по сравнению с конвекцией в 1,8 раза.

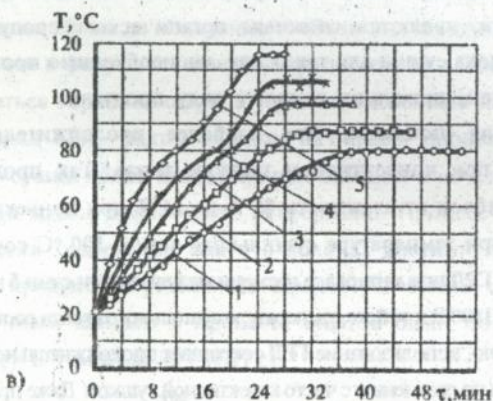
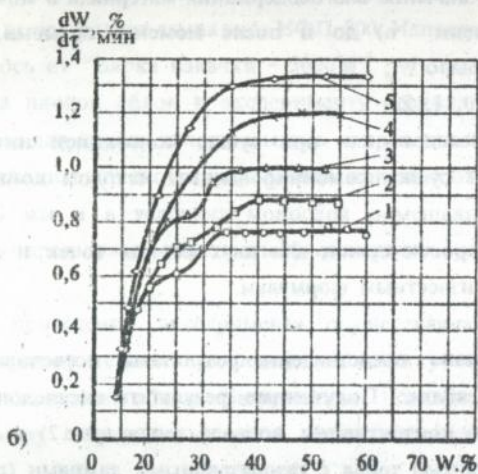
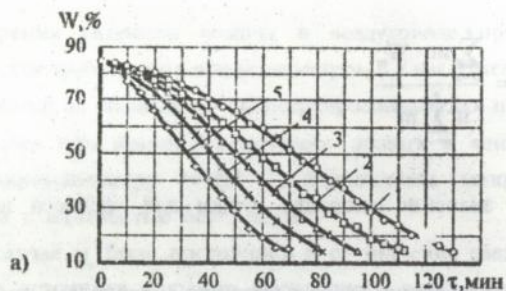


Рис.2 Кинетика процесса сушки яблочек при конвективном энергоподводе: а) кривые сушки; б) кривые скорости сушки; в) температурные кривые. 1 - 80°C; 2 - 90°C; 3 - 100°C; 4 - 110°C; 5 - 120°C.

Применение различных методов сушки оказывает влияние на характер протекающего процесса. Так, если при конвективном подводе тепла (рис. 2.б) кривые скорости сушки, соответствующие температурам сушильного агента 80, 90, и 100 °С в периоде падающей скорости имеют точку перегиба соответственно для влажности 25, 26 и 28 %, то при остальных исследуемых нами методах (рис.3.б) в характере кривых скорости сушки такого не наблюдалось.

При сушке конвективным методом продолжительность периода с постоянной скоростью больше, нежели при других методах. Так в первом случае она составила 35-40 %, а в другом - 9-13 % от общего времени процесса сушки.

Как видим, при сочетании с ГРЛ процесс сушки яблок, как правило, протекает в периоде падающей скорости сушки. Это говорит о том, что данный метод сушки является высокоинтенсивным. Так при конвективном подводе тепла максимальная скорость сушки (рис.2.б) составила 1,37 %, а при сочетании с ГРЛ (рис. 2.б.) в случае  $U = 1800$  В и температуре сушильного агента 100 град.С - 3,5 %/мин. Таким образом, скорость процесса сушки при сочетании с ГРЛ выше более чем в 2,5 раза по сравнению с чисто конвективным.

Для кривых (рис.2.в) при температурах сушильного агента 100, 110 и 120 °С характерно наличие некоторой точки перегиба на участке периода прогрева яблок. Перегиб кривых происходит при достижении материалом температуры 85-90 °С. По всей видимости, при этой температуре происходит интенсивное парообразование в продукте, что несколько увеличивает темп его прогрева. Такой же характер кривых и для комбинированного энергоподвода.

Как показали исследования, использование ГРЛ в сочетании с конвекцией при сушке яблок приводит к интенсификации в случае времени между импульсами до 20 с. При дальнейшем увеличении времени интервала между импульсами наличие ГРЛ практически не влияет на процесс сушки и характер кинетики процесса сушки приближается к чисто конвективному подводу тепла.

Это видно по продолжительности процесса. При сушке сочетанием с ГРЛ при времени между импульсами 20 с и температуре сушильного агента 100 °С время процесса составило 90 мин (рис.4) и при конвекции с этой же температурой сушильного агента при  $U = 1800$  В и  $t = 100$  °С время процесса составило 100 мин. При  $U = 1800$  В и  $t = 100$  °С время процесса составило 100 мин.

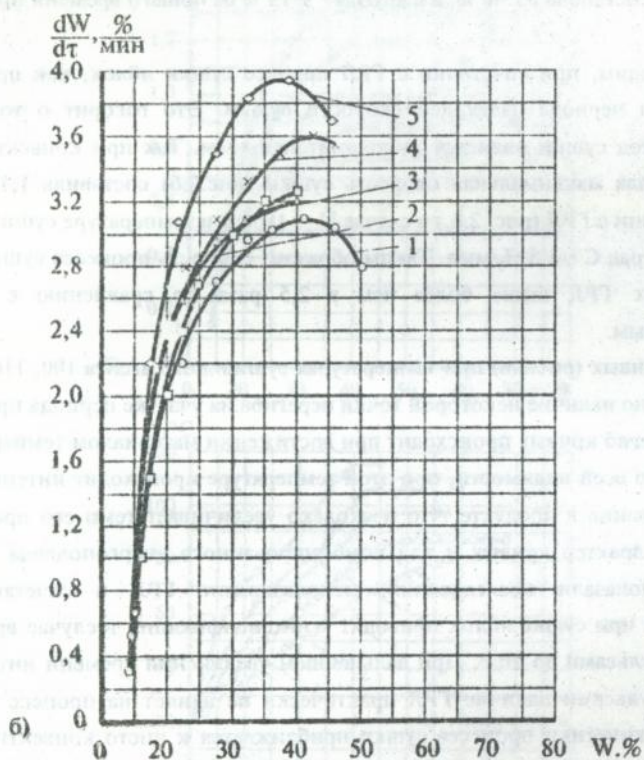
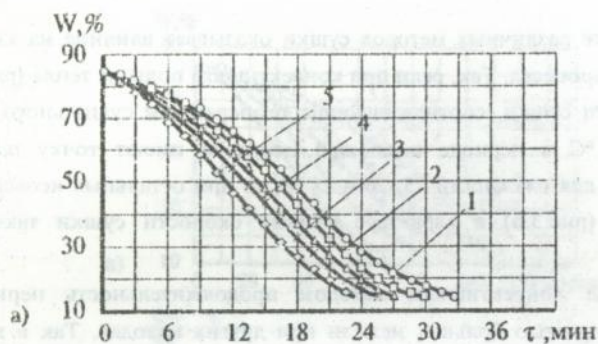


Рис.3. Кинетика процесса сушки яблок при комбинированном энергоподводе - конвекция + ГРЛ: а) кривые сушки б) кривые скорости сушки. 1 - 80°C; 2 - 90°C; 3 - 100°C; 4 - 110°C; 5 - 120°C.

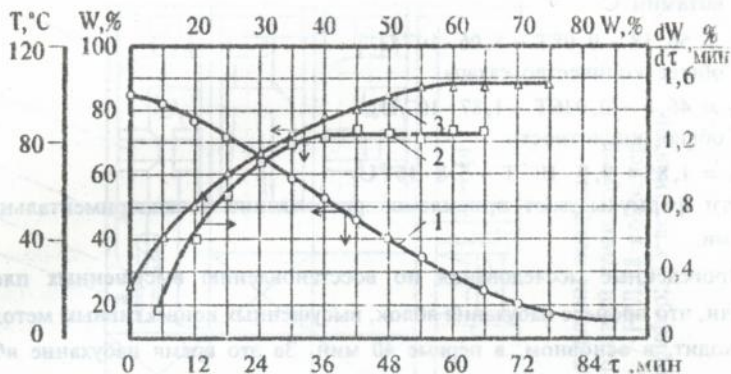


Рис.4. Кинетика сушки ябллок с использованием ГРЛ: а) кривые сушки; б) кривые скорости сушки; в) температурные кривые.

В оценке того или иного способа тепловой обработки при сушке решающее значение имеют качественные показатели готового продукта. Рациональными могут быть признаны только такие способы и режимы, которые наряду с хорошим экономическим эффектом обеспечивают также высокое качество готового продукта.

При тепловой обработке ябллок наряду с удалением влаги происходит ряд биологических изменений. Именно они в значительной степени определяют качество готового продукта.

Для оценки качества высушенного продукта при указанных методах сушки был проведен качественный анализ ябллок.

Важнейшими показателями, характеризующими качество сушеных плодов, являются их цвет, запах, вкус, консистенция, набухаемость, а также содержание в них водорастворимых питательных веществ, таких как: сахар, кислота, витамин С, провитамин А (каротин) и др.

Проведенные исследования выявили, что наилучшим способом сушки ябллок следует считать сушку совмещенным методом конвекции с ГРЛ при температуре сушильного агента 100 °С, напряжении на электродах лампы 1800 В и времени между импульсами 5 с.

Математическая обработка полученных основных качественных показателей выявила следующие зависимости:

- витамин С

$$C = 56,58 - 0,08T - 8,06 \cdot 10^{-4} U;$$

- общее количество сахара

$$Z = 46,6 - 0,036T - 1,87 \cdot 10^{-4} U;$$

- общая кислотность

$$K = 1,85 + 9,9 \cdot 10^{-4} T - 5,8 \cdot 10^{-5} U.$$

Эти формулы дают приемлемое расхождение с экспериментальными данными.

Проведенные исследования по восстановлению высушенных плодов выявили, что процесс набухания яблок, высушенных конвективным методом, происходит, в основном, в первые 40 мин. За это время набухание яблок происходит до 66 %. При использовании комбинированного метода сушки процесс набухания протекает быстрее. Такой же процент набухания, как и в предыдущем случае достигается за 26 минут. Предельное набухание при этом методе составило 70 % в течение 34 минут, что соответствует необходимым требованиям.

В этом же разделе представлены некоторые закономерности кинетики сушки яблок. Показано, что метод обобщенных кривых сушки по В.В. Красникову применим и в случае сушки яблок с применением ГРЛ независимо от напряжения на электродах  $U$ .

В результате обработки обобщенной кривой скорости сушки для яблок получены выражения для определения величин относительной скорости сушки в первой и во второй частях второго периода:

$$N_1' = 0,58 \exp[0,018(W - W_{кр1})] \quad (7)$$

$$N_2' = 0,15 \exp[0,35(W - W_{кр})] \quad (8)$$

Коэффициенты, которые входят в эти уравнения, легко находятся из обобщенных кривых скорости сушки в полудогарифмических координатах.

При сушке яблок в условиях конвекции и ГРЛ основным режимным параметром процесса, от которого главным образом зависит время процесса  $\tau$ , является напряжение на электродах лампы  $U$ . Обработка результатов эксперимента позволила нам получить следующую зависимость для определения времени процесса сушки  $\tau$ :

$$\tau = \left( \frac{710,3}{U} \right)^{0,52} \quad (9)$$

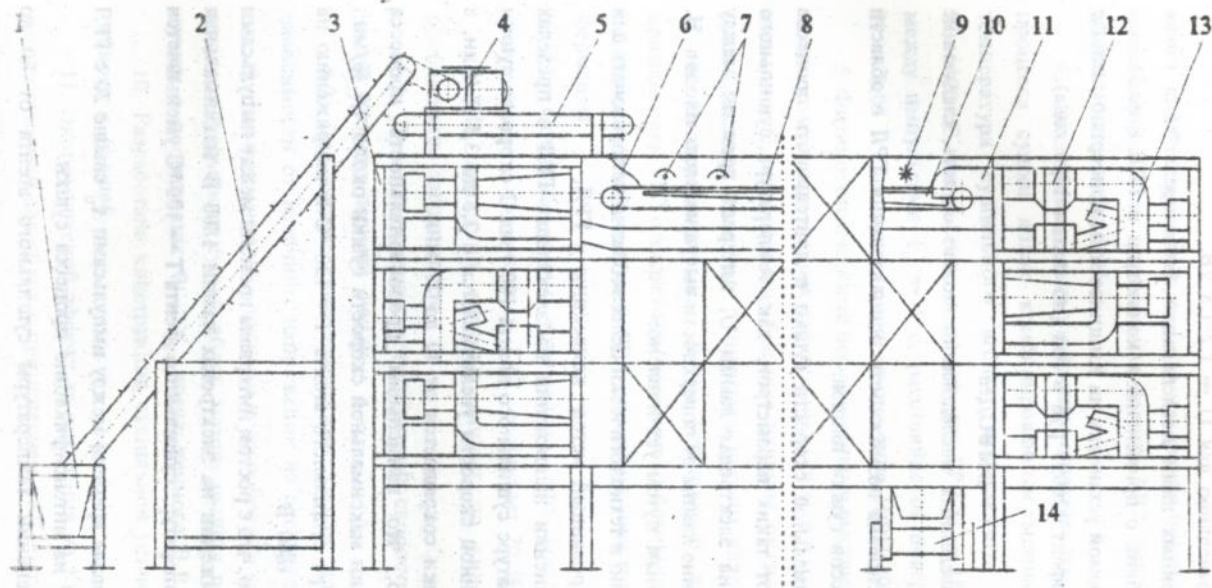


Рис.6.1 Установка для сушки плодов (яблок) и овощей горячим воздухом с использованием ГРЛ 1-бункер питатель; 2-скребковый транспортер; 3-рама; 4-укладчик; 5-конвейер; 6-направляющая; 7-ГРЛ; 8-конвейер; 9-воршильник; 10-диффузор; 11-воздуховод; 12-калорифер; 13-вентилятор; 14-разгрузочный конвейер.

Это выражение справедливо для  $U = 1,2-1,8$  кВ.

На основе проведенных нами исследований была предложена новая установка для сушки яблок с применением конвекции и ГРЛ (рис.5).

Внедрение предлагаемой установки на Кишиневском консервном заводе дало экономический эффект 126095 руб в год (по ценам 1990 года).

## ВЫВОДЫ

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Доказана и обоснована возможность использования ГРЛ в области интенсификации процессов сушки плодов.

2. Величина максимальной скорости сушки и длительность процесса сушки яблок зависит от таких параметров, как: температура сушильного агента  $T$ , напряжение на электродах лампы  $U$ , интервал времени между импульсами  $\tau_u$ , расстояние лампы от поверхности высушиваемых плодов  $H$ .

3. Экспериментальным путем установлено:

3.1. Рационально и технологически целесообразно использовать для сушки плодов комбинированный метод - конвекцию с ГРЛ.

3.2. При изменении напряжения на электродах ГРЛ в пределах 1200-1800 В при температуре сушильного агента 100 град.С скорость сушки яблок в период постоянной скорости увеличивается с 2,5 до 3,5 %/мин, а продолжительность сушки сокращается от 40 до 27 мин.

3.3. Выявлено, что наименьшая продолжительность процесса  $\tau = 23$  мин при значении максимальной скорости сушки около 4,0 %/мин соответствует температуре сушильного агента  $T = 120$  °С и напряжению на электродах лампы  $U = 1800$  В.

3.4. Определено, что с ростом интервала времени между импульсами  $\tau_u = 5-20$  с при напряжении на электродах лампы 1800 В максимальная скорость сушки при температуре сушильного агента  $T = 100$  °С уменьшается от 3,5 до 1,4 %/мин.

3.5. При интервале времени между импульсами  $\tau_u$  свыше 20 с ГРЛ практически не влияют на интенсификацию процесса сушки.

3.6. При изменении температуры сушильного агента от 80 до 120 °С скорость сушки яблок в период постоянной скорости увеличивается от 3,1 до 4,0 %/мин, а продолжительность уменьшается с 32 до 23 мин.

3.7. Определено, что с точки зрения получения конечного продукта высокого качества оптимальная высота ГРЛ над поверхностью продукта должна быть равна 0,05 м.

4. Экспериментально найдены оптимальные режимные параметры процесса сушки яблок комбинированным методом с ГРЛ, а именно: температура сушильного агента, подаваемого в сушильную камеру  $T = 100$  °С, напряжение на электродах ГРЛ  $U = 1800$  В, интервал времени между импульсами  $\tau_0 = 5$  с, расстояние от поверхности плодов до ГРЛ  $H = 0,05$  м при применении лампы типа ИФП-800.

5. Физико-химическими исследованиями высушенных яблок установлено, что на сохранение ценных питательных веществ в готовом продукте (сахаров, витамина С, кислотности) большее влияние оказывает продолжительность сушки, нежели конечная температура нагрева яблок в процессе сушки.

6. Экспериментальным путем установлено, что при сушке яблок с применением ГРЛ отпадает необходимость в бланшировании или сульфитации их перед сушкой, так как ГРЛ способны инактивировать окислительные ферменты.

7. Опытным путем установлено, что восстанавливаемость яблок, высушенных с применением ГРЛ, составляет 70 %.

8. На основании опытных данных по кинетике сушки получены обобщающие зависимости:

8.1. Для определения относительной скорости сушки яблок в обеих частях второго периода сушки.

8.2. Для определения продолжительности процесса сушки яблок в зависимости от величины напряжения на электродах ламп.

9. Экспериментально доказана целесообразность применения для расчета продолжительности сушки яблок метода расчета по обобщающим кривым сушки в координатах  $W - N_t$ , предложенного В.В. Красниковым.

10. Разработана конструкция сушильной установки для сушки плодов (яблок) и овощей.

11. Экономический эффект от внедрения на Кишиневском консервном заводе сушилки для яблок с применением ГРЛ составил 126095 руб в год (по ценам 1990 года).

## ОБОЗНАЧЕНИЯ

- W - влажность, %;  
U - напряжение, В;  
 $u_c$  - скорость сушильного агента, м/с;  
T - температура, °С;  
 $\tau$  - время сушки, мин;  
 $\tau_0$  - интервал между импульсами, мин;  
 $W_{кр2}$  - вторая критическая влажность в период падающей скорости, %;  
 $W_k$  - конечная влажность, %;  
N - максимальная скорость сушки, %/мин.

### По теме диссертации опубликованы следующие работы

1. Малезик И.Ф., Лупашко А.С., Кроитор В.В., Рожко В.С. Применение газоразрядных ламп для интенсификации процесса сушки пищевых продуктов. Тезисы докладов всесоюзной НТК. Электрофизические методы обработки пищевых продуктов и с/х сырья. -М., 1989.
2. Малезик И.Ф., Лупашко А.С., Кроитор В.В., Рожко В.С. Сушка яблок с применением газоразрядных ламп. Тезисы докладов НТК. Интенсификация технологии и совершенствование оборудования перерабатывающей отрасли АПК. Киев, 1989г
3. Лупашко А.С., Малезик И.Ф., Гаян Г.П., Рожко В.С. Использование газоразрядных ламп для интенсификации процесса сушки. Тезисы докладов НТК. Киев, 1990.
4. Лупашко А.С. Малезик И.Ф. Рожко В.С. и др. Сушка яблок использованием газоразрядных ламп. Тезисы докладов всесоюзной НТК. Проблемы влияния тепловой обработки на пищевую ценность продуктов питания. Харьков 1990.
5. Малезик И.Ф., Лупашко А.С., Котелевич Н.И., Грозав Э.К., Рожко В.С. Сушка шиповника комбинированным способом с применением токов высокой частоты. Качественные показатели высушенных плодов. Тезисы докладов всесоюзной НТК. Проблемы влияния тепловой обработки на пищевую ценность продуктов питания. Харьков, 1990.
6. Мустяца В.Т., Лупашко А.С., Берник М.П., Чеботарь И.Л. Рожко В.С. Электрофизические характеристики некоторых растительных материалов. Тезисы докладов НТК. Кишинев, 1990.
7. Малезик И.Ф., Котелевич Н.И., Лупашко А.С., Гаян Г.П., Грозав Э.К., Рожко В.С. Сушка плодов шиповника с применением ТВЧ. Электронная

обработка материалов, Кишинев, N6, 1991.

8. Lupaşco A.S., Malejic I.F., Rojco V.S. Uscător pentru mere cu aplicarea tubului cu descărcarea în gaz. Teze la conferinţa tehnică şi ştiinţifică, Chişinău, 1993.

9. Лупашко А.С., Малежик И.Ф., Рожко В.С. Об интенсификации процесса сушки плодов. Электронная обработка материалов. N1, 1995.

10. А.С. N489874/13/077097 Способ сушки шиповника. Малежик И.ф., Лупашко А.С., Ганя Г.П., Рожко В.С., 1992.

11. Brevet de invenţie N 94-0343. Procesul de uscare a ardeiului. Lupaşco A.S., Bernic M.P., Cotelevici N.I., Rojco V.S., 1994.

\* \* \*

Рожко В.С. Дослідження кінетики процесу сушіння яблук із застосуванням газорозрядних ламп.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук по спеціальності 05.18.12 - процеси, машини і агрегати харчової промисловості, Український державний університет харчових технологій, Київ, 1994.

Дисертація написана у виді рукопису.

Захищається 9 наукових праць і 2 авторських свідоцтва, які містять результати теоретичних і експериментальних досліджень по интенсифікації процесу сушіння яблук із застосуванням комбінованого енергопідводу - конвекції і газорозрядних ламп.

Установлено, що процес сушіння яблук при суміщенні конвекції з імпульсним електромагнітним випромінюванням газорозрядних ламп інтенсифікується більше, ніж в три рази в порівнянні з чисто конвективним методом сушіння. Здійснено промислове впровадження розробленої сушарки для яблук, приводяться дані по її ефективності в процесі експлуатації.

Ключові слова:

газорозрядні лампи, електромагнітні поля, интенсифікація процесу, температура, напруга.

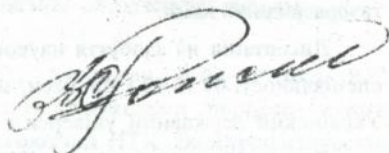
\* \* \*

Rozhko V.S. Investigation of process kinetics concerning apple drying with the use of gas-discharge lamps.

Dissertation for a candidate's degree on the speciality 05.18.12 - Food industry processes, machines and units. Ukrainian State University of Food Technology, Kiev, 1994. Dissertation is write as a manuscript.

There are defended 9 (nine) scientific works and 2 (two) certificates of authorship containing the results of theoretical and experimental research on intensification of the apple-drying process with the use of combined energy power supply; convection and gaz-discharge lamps. It has been established that combination of convection and gaz-discharge lamps pulsed electromagnetic radiation during apple drying steps up the process of drying more than three times comparing to the purely convective drying process. The designed apple drier has been introduced in in 'ustry; there being given data on its efficiency under service conditions.

Key words: gaz-discharge lamps; electromagnetic fields; process intensification; temperature, voltage.

A handwritten signature in dark ink, appearing to read 'B. G. Gerasimov', is written in a cursive style on the right side of the page.

Технический университет Молдовы . Типография



U56705

AB 31.686