

Автор ер.

Ч-12

Библиотеч.

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ  
ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА

---

---

На правах рукописи

Чагаровский Вадим Петрович

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУБЛИМАЦИОННОЙ СУШКИ  
ПИЩЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ С ДОСУШИВАНИЕМ В  
КИПЯЩЕМ СЛОЕ

Специальность 05.18.13-технология консерви-  
рованных пищевых продуктов

Депреулет 1981

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Одесса-1981



изводства сухих продуктов сублимационной сушки, являются актуальными и приобретают в настоящее время первостепенное значение.

**Цель и задачи исследований.** Целью диссертационной работы и исследований, связанных с изучением процесса сублимационной сушки с использованием досушивания в кипящем слое, является интенсификация процесса сушки в целом, определение рациональных режимов и получение сухих продуктов высокого качества. В соответствии с поставленной целью задачи настоящей диссертации можно сформулировать следующим образом:

- исследование и выбор источников радиационного теплоподвода, обеспечивающих получение продуктов высокого качества;
- уточнение режимов замораживания для исследуемых продуктов;
- исследование процесса сублимационной сушки и определение момента окончания сушки продуктов в сублиматоре;
- исследование процесса досушивания частично сублимированных пищевых продуктов в развитой стадии кипящего слоя;
- определение качественных показателей сухих продуктов, полученных комбинированным способом с применением досушивания вне сублиматора;
- разработка технологической схемы производства сухих продуктов комбинированным способом с применением досушивания вне сублиматора в развитой стадии кипящего слоя.

**Объекты исследований:** источники радиационного теплоподвода; процессы сублимационной сушки и досушивания в развитой стадии кипящего слоя; ягоды земляники трех сортов: Виктория, Красавица Загорья и Киевская; плоды абрикосов двух сортов: Персиковый и Анапский; абрикосовое и земляничное пюре, нежирный творог.

**Постановка экспериментов и методы исследований.** Экспериментальные исследования осуществлены в лабораториях кафедры технологии молока и сушки пищевых продуктов ОТИШ им.М.В.Ломоносова, ВНИИТИ биологической промышленности, Всесоюзного генетико-селекционного института, УкрНИИВиВ имени Таирова, на производственно-экспериментальном заводе ВНИМИ. Схема проведения исследований представлена на рис.1.

Для проведения исследований по сублимационной сушке была спроектирована и создана экспериментальная сублимационная установка, особенность которой являлось применение в качестве источника радиационного теплоподвода предложенных нами "темных" излу-

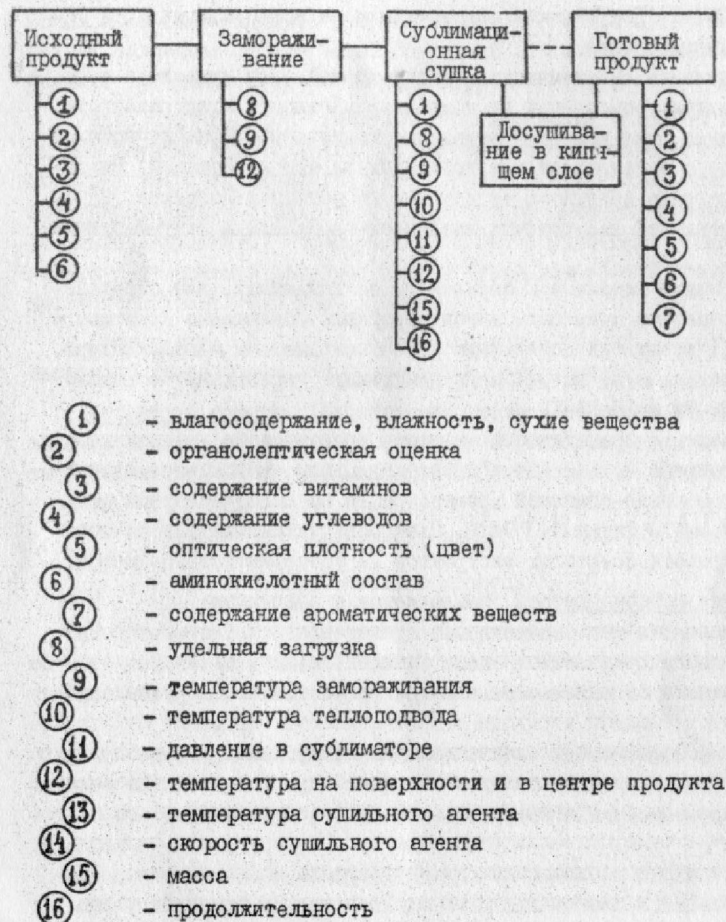


Рис.1. Схема проведения исследований.

чателей. Для исследования кинетики сушки в сублиматоре установлены весы ВЛКТ-2. Досушивание осуществляли на экспериментальной установке кипящего слоя.

Определение эвтектической температурной зоны проводили с помощью методики, основанной на измерении удельного электрического сопротивления. Для контроля изменения температуры хромель-копелевые термомпары устанавливали в продуктах по методу Якушевой. Равномерность нагрева продуктов определяли по методике Лебедева. Определение влажности исследуемых продуктов проводили в вакуум-сушильном шкафу.

Содержание витамина С определяли по Тильмансу, для определения общего сахара применяли метод Бертрана. Содержание каротина в исследуемых продуктах определяли калориметрическим методом Мурри. Восстанавливаемость, коэффициент набухания определяли согласно ОСТам И8-92-72 и И8-94-72.

Определение ароматических веществ проводили на газожидкостном хроматографе модели "Цвет". Массовую долю аминокислот определяли методом ионно-обменной хроматографии на аминокислотном анализаторе KLA-5 фирмы Hitachi. Цветность устанавливали по оптической плотности спиртовых экстрактов на фотоэлектрокалориметре.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- обоснована целесообразность применения в качестве источника теплоподвода предложенных нами "темных" излучателей;
- уточнены эвтектические температурные зоны исследуемых продуктов;
- установлен момент окончания сушки в сублиматоре, выведены уравнения продолжительности сублимационной сушки и выявлены зависимости массообменных коэффициентов  $A$  и  $B$  от массы сухого продукта;
- определены оптимальные режимы досушивания исследуемых продуктов в развитой стадии кипящего слоя; выведены уравнения, позволяющие определить продолжительность досушивания;
- разработана технологическая схема производства сухих продуктов с досушиванием вне сублиматора.

Практическая ценность. На основании проведенных исследований разработана технология производства сухих пищевых продуктов комбинированным способом с использованием досушивания в кипящем слое, обеспечивающая сокращение продолжительности сушки в целом, повышение производительности оборудования и получение продуктов высокого

качества. Производственная проверка предлагаемого способа сушки (на примере творога) на производственно-экспериментальном заводе ВНИИМ дала положительные результаты и подтвердила правильность основных положений диссертации. Расчетный годовой экономический эффект от внедрения составит 81,8 тыс. руб.

Апробация работы. Результаты исследований доложены и одобрены на: научных конференциях профессорско-преподавательского состава ОТИИП им. М.В.Ломоносова (1979-1980гг.), республиканской научной конференции молодых ученых по вопросам пищевой промышленности (Тбилиси, ГрузНИИПП, 1980г.), Всесоюзной научно-технической конференции "Перспективы развития производства консервной продукции для детского питания" (Одесса, 1980г.).

Публикации. Основные результаты исследований, выполненных в настоящей диссертации, опубликованы в трех статьях.

Структура работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов, списка литературы и приложений. Основное содержание работы изложено на 140 стр., машинописного текста, 42 рисунка, 20 таблиц.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### I. Состояние вопроса

В диссертационной работе рассматриваются литературные данные об интенсификации процесса сублимационной сушки, структуре воды, видах связи влаги с материалом, удалении влаги при сублимационной сушке. Отмечено, что сублимированные продукты высокого качества получают при удалении около 80% влаги в замороженном состоянии. Критический анализ сведений по сублимационной сушке позволил сделать вывод о том, что время удаления остаточной влаги весьма продолжительно и значительно снижает эффективность процесса в целом.

На основании обобщения литературных данных следует отметить, что интенсификация сублимационной сушки развивается в следующих направлениях: создание непрерывно действующих сублимационных установок, совершенствование методов энергоподвода, создание новых аппаратурных решений, увеличение поверхности испарения пищевых продуктов на различных стадиях сушки.

Особое внимание уделено рассмотрению литературных источников по досушиванию пищевых продуктов конвективной сушкой вне сублиматора.

Однако, необходимо отметить, что отсутствие достаточного количества литературных сведений о технологических режимах производства сублимированных пищевых продуктов с применением досушивания вне сублиматора не позволяет дать какие-либо конкретные рекомендации для промышленного использования комбинированного способа сушки. Поэтому исследование процесса досушивания пищевых продуктов вне сублиматора представляет значительный интерес, так как позволит дать ответ на вопросы о возможности сокращения процесса сушки путем досушивания вне сублиматора за счет интенсификации в конвективных сушильках, а также о возможности получения готовых продуктов, по качественным показателям не уступающим продуктам сублимационной сушки.

## 2. Результаты исследований

### Обоснование и выбор режимов сублимационной сушки исследуемых пищевых продуктов

Выбор источников и режимов теплоподвода. Основные источники радиационного теплоподвода, применяемые для сублимационной сушки в отечественной промышленности, - лампы РН-220-40-1 имеют некоторые недостатки: неравномерность нагрева пищевых продуктов, являющаяся причиной "пережога" и получения готового продукта, неоднородного по влажности, и загрязнение пищевых продуктов стеклом вследствие выхода ламп из строя.

С целью устранения указанных недостатков было предложено в качестве источника излучения применять тонкую алюминиевую пластину (0,15 мм), нагреваемую в свою очередь лампами РН-220-40-1. Проведение исследований по равномерности нагрева и тепловой инерционности в сравнении с известными источниками радиационного теплоподвода (ТЭНы, лампы РН-220-40-1) подтвердило целесообразность предложенных "темных" излучателей.

Кроме того, на основании теоретического расчета были построены кривые распределения плотности излучения, показывающие, что максимум излучения предложенных нами нагревателей находится в пределах 6-8 мкм. Это в свою очередь обеспечит максимальное поглощение ИК-энергии продуктами растительного происхождения, так как зона спектра поглощения энергии для них находится в пределах 3,5 - 7 мкм.

При проведении исследований по сублимационной сушке применяли режим ступенчатый, теплоподвод - двухсторонний.

Определение эвтектической температурной зоны. Встречающиеся в литературе сведения об эвтектической зоне пищевых продуктов противоречивы. С целью уточнения эвтектической температурной зоны проводились исследования на современной аппаратуре фирмы "Юзифруа". Для определения максимальной температуры полного затвердевания и максимальной температуры плавления применялась методика, основанная на измерении удельного электрического сопротивления.

На основании полученных графических зависимостей установлено, что для абрикосов и абрикосового пюре эвтектическая температурная зона находится в пределах  $-26 + -32^{\circ}\text{C}$ , для земляники и земляничного пюре  $-27 + -34^{\circ}\text{C}$ . Количество кристаллизованной влаги в продуктах растительного происхождения для установленных эвтектических температурных зон составило в среднем 89-91%, в твороге - 86%.

Исследования процесса получения сухих продуктов с применением досушивания вне сублиматора в развитой стадии кипящего слоя

Выбор оптимальной удельной загрузки и определение продолжительности сушки в сублиматоре. Сублимационную сушку проводили в созданной экспериментальной установке по установленным режимам. Для определения оптимальной удельной загрузки сублимационное обезвоживание проводили при удельных загрузках в диапазоне  $5-12\text{кг}/\text{м}^2$ . Земляничное и абрикосовое пюре подвергали высушиванию в кубиках размерами 18 x 18 x 18 мм. Оптимальной удельной загрузкой считали загрузку, при которой удельный съем сухих продуктов был наибольшим.

В результате исследований установлено, что для абрикосов и абрикосового пюре оптимальная удельная загрузка равна  $10\text{кг}/\text{м}^2$ , для земляники и земляничного пюре -  $9\text{кг}/\text{м}^2$ , так как при указанных загрузках удельный съем сухих продуктов был наибольшим. По результатам экспериментальных исследований построены кривые сушки при оптимальных удельных загрузках, представленные на рис.2.

О моменте окончания сублимации льда нет единого мнения. Поэтому с целью определения продолжительности сушки в сублиматоре и начала досушивания опыты проводили по трем вариантам:

I. Считают, что в момент перехода постоянной скорости сушки в падающую скапливается удаление свободной влаги. Поэтому сублимационную сушку прекращали для земляники, земляничного пюре, абрикосов и абрикосового пюре при  $W_{\text{к}} = 300\%$ , для творога - при  $W_{\text{к}} = 100\%$ . Указанное влагосодержание соответствует моменту перехода постоянной скорости сушки в падающую.

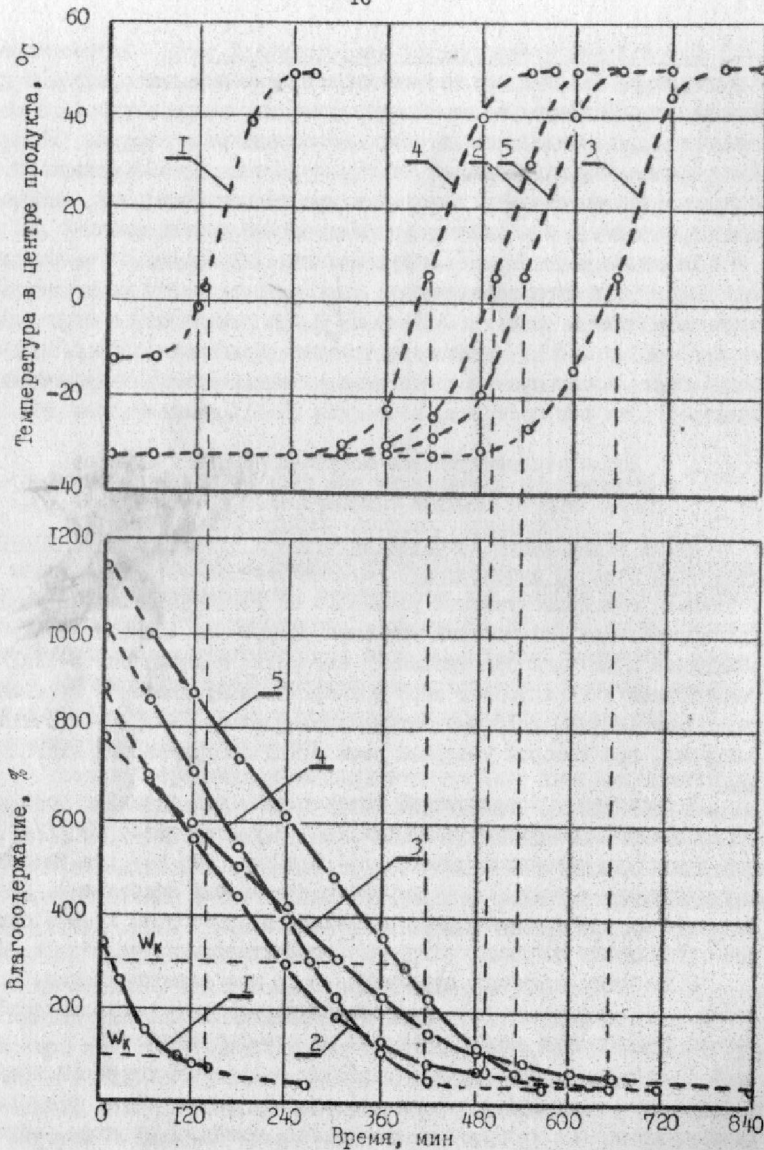


Рис. 2. Кривые сублимационной сушки исследуемых продуктов при оптимальных удельных нагрузках.  
 I - творог; 2 - абрикосы; 3 - абрикосовое пюре;  
 4 - земляника; 5 - земляничное пюре.

2. Известно, что сублимированные продукты высокого качества получают при удалении около 80% влаги в замороженном состоянии. Сублимационную сушку прекращали при удалении из исследуемых продуктов около 80% влаги.

3. Существует мнение о том, что момент окончания сублимации льда определяется переходом температур из отрицательной области в положительную, поэтому сублимационную сушку прекращали при переходе температуры центра продуктов из области отрицательных температур в область положительных.

На основании проведенных исследований выяснено, что окончание процесса сублимационной сушки в момент перехода температуры из области отрицательных температур в область положительных (около  $0-2^{\circ}\text{C}$ ) приводит к появлению при дальнейшем досушивании темной спешейся капли в центре продукта. Экспериментально установлено, что для продуктов растительного происхождения наиболее приемлемо прекращать процесс сушки в сублиматоре при достижении температуры в центре продукта  $6-7^{\circ}\text{C}$ . Результаты исследований по определению продолжительности сушки в сублиматоре при оптимальных удельных нагрузках представлены в следующей таблице:

Наименование продукта	Влажность, %	Продолжительность сушки в сублиматоре, мин	Температура центра продукта, $^{\circ}\text{C}$
Абрикосы	12 - 16	$500 \pm 15$	6 - 7
Абрикосовое пюре	12 - 16	$650 \pm 15$	6 - 7
Земляника	12 - 16	$420 \pm 15$	6 - 7
Земляничное пюре	12 - 16	$540 \pm 15$	6 - 7
Творог	60 - 65	$140 \pm 5$	1 - 2

Из таблицы видно, что влажность продуктов растительного происхождения в момент окончания сушки в сублиматоре составляло в среднем 12-16%, температура в центре продукта  $6-7^{\circ}\text{C}$ ; для творога влажность составляло 60-65%, температура центра продукта  $1-2^{\circ}\text{C}$ . Продолжительность сублимационной сушки творога была наименьшей и составляла  $140 \pm 5$  мин, для продуктов растительного происхождения находилась в диапазоне  $420 + 650 \pm 15$  мин.

Расчет продолжительности сушки. Результаты экспериментов бы-

ли подтверждены теоретическим расчетом продолжительности сушки. В результате математической обработки получены уравнения продолжительности сушки для каждого из исследуемых продуктов:

для земляники и земляничного шпоре:

$$\tau = \frac{1}{N} [(W_1 - W_K) + 2A(\sqrt{W_K - W_P} - \sqrt{W_2 - W_P}) + \beta(W_K - W_2)] \quad (1)$$

для абрикосов, абрикосового шпоре и творога:

$$\tau = \frac{1}{N} [(W_1 - W_K) + 2,3A \lg \frac{W_K - W_P}{W_2 - W_P} + \beta(W_K - W_2)] \quad (2)$$

где:  $W_1, W_P, W_K$  - начальное, равновесное (конечное) и критическое влагосодержание, %;

$\tau$  - продолжительность сушки, мин.

Критическое влагосодержание  $W_K$  определяли экспериментально по кривым сушки, так как оно является границей перехода между постоянной и падающей скоростью сушки. Для абрикосов, земляники, абрикосового и земляничного шпоре  $W_K = 300\%$ , для творога -  $W_K = 100\%$ .

Для определения постоянной скорости сушки  $N$  была установлена зависимость, выражающаяся следующими уравнениями:

земляника

$$N = -0,25 \frac{M}{F} + 4,75 \quad (3)$$

земляничное шпоре

$$N = -0,55 \frac{M}{F} + 7,15 \quad (4)$$

абрикосы

$$N = -0,36 \frac{M}{F} + 5,9 \quad (5)$$

абрикосовое шпоре

$$N = -0,2 \frac{M}{F} + 3,4 \quad (6)$$

творог\*

$$N = -0,3 \frac{M}{F} + 4,6 \quad (7)$$

где  $\frac{M}{F}$  - удельная загрузка, кг/м<sup>2</sup>.

Среднее квадратичное отклонение расчетных значений  $N$ , полученных по формулам (3)-(7), и экспериментальных не превышает  $\pm 0,105$  (2%).

Массообменные коэффициенты  $A$  и  $\beta$  определяли экспериментально. Зная  $W_1, W_K$ , продолжительность сушки до критического

влагосодержания и рассчитав по экспериментальным данным методом наименьших квадратов  $\frac{N(\tau - \tau_K)}{W_K - W}$ , получали значения коэффициентов  $A$  и  $\beta$ . Анализ экспериментальных данных показал, что значения этих коэффициентов зависят от удельной загрузки. Но так как в процессе сушки удельная загрузка является величиной переменной, то целесообразнее трактовать зависимость значений коэффициентов  $A$  и  $\beta$  от массы сухого вещества - величины, оставшейся в процессе эксперимента неизменной.

Указанная зависимость хорошо аппроксимируется выражениями вида:

$$\begin{aligned} A &= a_A M_c^2 + b_A M_c + c_A \\ \beta &= a_\beta M_c^2 + b_\beta M_c + c_\beta \end{aligned} \quad (8)$$

Эти уравнения с учетом значений, при которых  $A$  и  $\beta$  принимают экстремальные значения, для каждого из исследуемых продуктов имеют следующий вид:

земляника

$$A = 21,8 \cdot 10^3 (M_c - 0,0306)^2 + 17,4 \quad (9)$$

$$\beta = 0,366 \cdot 10^3 (M_c - 0,0306)^2 + 0,012$$

земляничное шпоре

$$A = 138 \cdot 10^3 (M_c - 0,0306)^2 + 9,88 \quad (10)$$

$$\beta = -8,19 \cdot 10^3 (M_c - 0,0306)^2 + 0,534$$

абрикосы

$$A = 2,14 \cdot 10^3 (M_c - 0,05)^2 + 104 \quad (11)$$

$$\beta = 4,04 \cdot 10^3 (M_c - 0,05)^2 + 0,606$$

абрикосовое шпоре

$$A = -1,92 \cdot 10^3 (M_c - 0,05)^2 + 2,94 \quad (12)$$

$$\beta = -1,18 \cdot 10^3 (M_c - 0,05)^2 + 1,65$$

творог

$$A = -28,3 \cdot 10^3 (M_c - 0,11)^2 + 108 \quad (13)$$

$$\beta = 0,34 \cdot 10^3 (M_c - 0,11)^2 - 0,21$$

Определение оптимальных температур досушивания. С целью установления оптимальных температурных режимов исследовалось досушивание частично сублимированных продуктов при различных температурах. Правильность выбора температуры сушильного агента оценивали по времени досушивания и качеству готовых продуктов. Досушивание проводили при температурах сушильного агента (воздуха) от 50 до 75°C и выше. Установлено, что для исследуемых продуктов досушивание при температуре выше 75°C приводит к слипанию частиц продуктов в комки и агрегаты, при остальных температурных режимах качество было достаточно хорошим.

На рис.3 представлены кривые досушивания частично сублимированных продуктов. В результате обработки экспериментальных данных получены эмпирические зависимости продолжительности сушки от температуры сушильного агента, которые достаточно точно описываются уравнениями:

$$\text{для земляники} \quad \tau = 160,6 - 1,87t \quad (I4)$$

$$\text{для земляничного пюре} \quad \tau = 117,5 - 1,25t \quad (I5)$$

$$\text{для абрикосов} \quad \tau = 117,5 - 1,25t \quad (I6)$$

$$\text{для абрикосового пюре} \quad \tau = 131,8 - 1,5t \quad (I7)$$

$$\text{для творога} \quad \tau = 136,5 - 1,58t \quad (I8)$$

Установлено, что наиболее приемлемо проводить досушивание при температуре сушильного агента 65+70°C, так как при этом обеспечивается получение продуктов высокого качества при минимальной продолжительности процесса (около 30 мин.).

Исследование гидродинамики кипящего слоя частично сублимированных пищевых продуктов. Для изучения гидродинамики кипящего слоя использовались расчетные уравнения, предложенные М.А.Гришиным. Экспериментально в результате исследования определены: критическая скорость сушильного агента  $U_{к1}$ , необходимая для перехода частиц продукта из неподвижного состояния в подвижное; скорость воздуха  $U_2$ , соответствующая развитой стадии кипящего слоя; скорость витания частиц  $U_{ввт}$ , обуславливающая явление пневмотранспорта.

Среднее квадратичное отклонение экспериментальных и расчетных значений  $U_{к1}$ ,  $U_2$  и  $U_{ввт}$  не превышает  $\pm 0,165$  (2,7%). Установлено, что скорость воздуха  $U_2$ , соответствующая развитой ста-

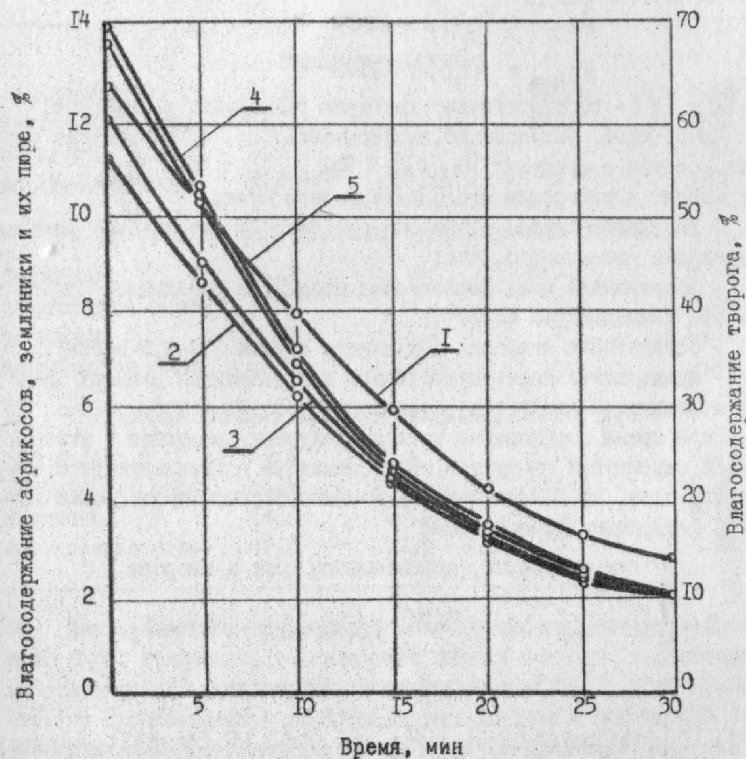


Рис.3. Кривые досушивания исследуемых продуктов при оптимальных режимах.

I — творог; 2 — абрикосы; 3 — абрикосовое пюре; 4 — земляника; 5 — земляничное пюре.

дии кипящего слоя, находится в пределах 2,2-2,5 м/сек. Границы существования кипящего слоя определяли и критериальными зависи- мостями:

$$\begin{aligned} Re_{к1} &= 4,75 Fe - 325 \\ Re_2 &= 8,4 Fe - 530 \\ Re_{вum} &= 41,5 Fe - 3000 \end{aligned} \quad (19)$$

где  $Re$  и  $Fe$  - соответственно критерии Рейнольдса и Федорова.

Кроме того, установлено экспериментально, что повышение скорости воздуха в пределах  $Re_2 < Re < Re_{вum}$  ( $v_2 < v < v_{вum}$ ) не приводит к ускорению продолжительности сушки.

В результате исследований по определению оптимальных режимов досушивания установлено, что:

- досушивание всех исследуемых продуктов необходимо проводить при температурах 65-70°C;
- оптимальная скорость сушильного агента 2,2-2,5 м/сек;
- продолжительность досушивания при указанных режимах для всех исследуемых продуктов составляет около 30 минут.

Зная время досушивания всех исследуемых продуктов с учетом времени перегрузки продуктов из сублиматора в сушильную установку кипящего слоя, продолжительность комбинированной сушки можно выразить следующими уравнениями:

для абрикосов, абрикосового пюре и творога

$$\tau = \frac{1}{N} [(W_1 - W_k) + 2,3A \lg \frac{W_k - W_p}{W_2 - W_p} + \beta(W_k - W_2)] + [30 + 35] \text{ мин} \quad (20)$$

для земляники, земляничного пюре

$$\tau = \frac{1}{N} [(W_1 - W_k) + 2A(\sqrt{W_k - W_p} - \sqrt{W_2 - W_p}) + \beta(W_k - W_2)] + [30 + 35] \text{ мин} \quad (21)$$

Оценка качества готовых продуктов

Определение основных объективных показателей качества. Для качественной оценки исходного сырья определяли следующие показатели: влажность, массовую долю витамина С, каротина, содержание общего сахара, оптическую плотность спиртовых экстрактов, восстанавливаемость. Эти же показатели определяли в восстановленных продуктах сублимационной и комбинированной сушки. Результаты ис-

следований приведены в таблице:

Таблица 2

Наименование	Общий сахар, %	Каротин, мг/100	Витамин С, мг/100	Оптическая плотность, $\lambda = 413 \cdot 10^{-9} \text{ м}$
Исходные продукты				
земляника	53,1	-	455,4	0,32
земляничное пюре	45,8	-	436,8	0,32
абрикосы	64,7	24,2	-	0,24
абрикосовое пюре	68,4	17,2	-	0,23
Восстановленные продукты сублимационной сушки				
земляника	51,3	-	411,3	0,32
земляничное пюре	44,6	-	354,9	0,36
абрикосы	64,3	11,3	-	0,23
абрикосовое пюре	67,9	12,9	-	0,21
Восстановленные продукты комбинированной сушки				
земляника	51,3	-	410,0	0,32
земляничное пюре	44,6	-	345,8	0,36
абрикосы	64,1	10,5	-	0,23
абрикосовое пюре	67,3	12,5	-	0,21

При проведении органолептической оценки абрикосов, абрикосового пюре, земляники, земляничного пюре и творога, полученных как сублимационной, так и комбинированной сушкой, было установлено, что все представленные образцы не различались и соответствовали требованиям ОСТов 18-92-72, 18-94-72 и 18-258-75.

Изучение аминокислотного состава. Для комплексной оценки качества был проведен анализ аминокислотного состава сухих продуктов, полученных сублимационной и комбинированной сушкой. Данные экспериментальных исследований аминокислотного состава творога представлены в таблице 3. Результаты исследований аминокислотного состава показали, что содержание аминокислот во всех продуктах сублимационной сушки и в продуктах комбинированной сушки практически одинаково.

Одесский технологический институт пищевой промышленности им. акад. В. Д. Скуратова  
БИБЛИОТЕКА

V 0136 44

Таблица 3

% к общему содержанию аминокислот	Творог,	
	высушенный сублимационной сушкой	Творог, высушенный комбинированной сушкой
Незаменимые аминокислоты		
Триптофан	2,08	2,1
лизин	8,38	8,35
треонин	3,9	3,85
валин	4,53	4,50
метионин	3,3	3,40
изолейцин	4,18	4,2
лейцин	9,25	9,25
фенилаланин	4,48	4,48
Заменимые кислоты		
Гистидин	2,74	2,74
аргинин	4,2	4,25
аспарагиновая кислота	7,64	7,6
Серин	5,55	5,5
глутаминовая кислота	26,22	26,2
пролин	4,53	4,55
глицин	1,73	1,75
аланин	2,9	2,87
тирозин	4,4	4,42

Определение ароматических веществ. С целью сравнения продуктов сублимационной и комбинированной сушки по аромату было проведено определение ароматических веществ. В результате исследований в продуктах был обнаружен ряд веществ. Так, в землянике и земляничном пюре идентифицированы спирты (пропанол, амиллол, гептанол), эфиры (этилформиат, этилацетат, этилкапроат, амилацетат, этилвалерат). В абрикосах и абрикосовом пюре также обнаружены спирты (метанол, пропанол, гексанол, гептанол) и эфиры (этилизобутират, этилацетат, этилвалерат, изоамилацетат).

Хроматограммы ароматических веществ земляники представлены на рис. 4. Определение количественного соотношения ароматических веществ в сухих продуктах, высушенных комбинированной и сублимационной сушкой, проводили по площадям пиков методом наложения по-

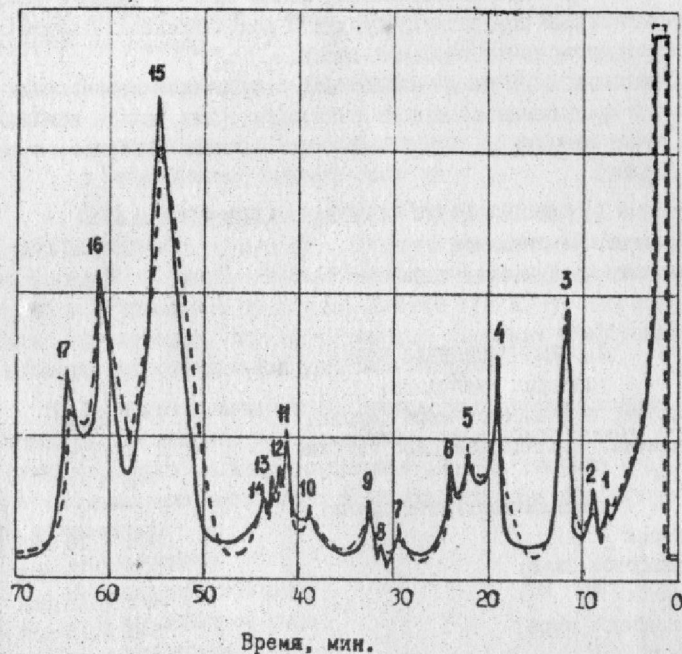


Рис. 4. Хроматограмма земляники, высушенной сублимационным и комбинированным способами.

--- комбинированная сушка

— сублимационная сушка

2 - этилформиат; 3 - этилацетат; 4 - гексен-2-аль-I (?); 6 - пропанол; 7 - этилизобутанол; 9 - этилкапроат; 10 - амилацетат; 11 - этилвалерат; 13 - изоамилол; 14 - амиллол; 16 - гептанол; 1, 5, 8, 12, 15 - не идентифицированы.

лученных хроматограмм. Было установлено, что площади пиков на хроматограммах практически совпадают.

Обобщая результаты исследований, можно сделать вывод о том, что по качественным показателям продукты комбинированной сушки не уступают продуктам сублимационной сушки.

На основании всех ранее изложенных результатов проведенных исследований предложены следующие технологические режимы комбинированной сушки земляники, абрикосов, земляничного и абрикосового пюре и творога.

#### 1. ЗАМОРАЖИВАНИЕ (САМОЗАМОРАЖИВАНИЕ)

земляника, земляничное пюре	-33 + -34°C
абрикосы, абрикосовое пюре	-32°C
творог	-12°C

#### 2. СУБЛИМАЦИОННАЯ СУШКА

удельная загрузка:

абрикосы, абрикосовое пюре (кубики)	10 кг/м <sup>2</sup>
земляника, земляничное пюре (кубики)	9 кг/м <sup>2</sup>
творог	7-8 кг/м <sup>2</sup>

продолжительность сушки:

абрикосы	500 ± 15 мин
абрикосовое пюре	650 ± 15 мин
земляника	420 ± 15 мин
земляничное пюре	540 ± 15 мин
творог	140 ± 5 мин.

#### 3. ДОСУШИВАНИЕ В КИПЯЩЕМ СЛОЕ

температура сушильного агента	65 - 70°C
скорость сушильного агента	2,2-2,5 м/сек
продолжительность	30 минут

#### 4. РАСФАСОВКА и УПАКОВКА

### ВЫВОДЫ

1. Уточнены эвтектические температурные зоны исследуемых продуктов, находящиеся в пределах:

для абрикосов и абрикосового пюре	-26 + -32°C
для земляники	-27 + -33°C
для земляничного пюре	-27 + -34°C

2. Установлено, что с учетом таких показателей, как равномерность нагрева, тепловая инерционность, спектральные характеристики, наиболее целесообразно в качестве источника теплоподвода применять "темные" излучатели.

3. Определены оптимальные удельные загрузки исследуемых продуктов:

абрикосов и абрикосового пюре	10 кг/м <sup>2</sup>
земляники и земляничного пюре	9 кг/м <sup>2</sup> .

4. Используя метод приведенной скорости сушки, выведены уравнения, позволяющие определить продолжительность сушки в сублиматоре. Определена математическая зависимость коэффициентов  $A$  и  $\beta$ , входящих в уравнение продолжительности сушки, от массы сухих веществ. Установлено, что экстремальные значения коэффициенты  $A$  и  $\beta$  принимают при оптимальной удельной загрузке.

5. Экспериментально установлено, что сублимационную сушку земляники, земляничного пюре, абрикосов и абрикосового пюре необходимо проводить до влагосодержания 12-16%, творога - 60-65%. При этом продолжительность сушки в сублиматоре для исследуемых продуктов составляет:

абрикосы	500 ± 15 мин
абрикосовое пюре	650 ± 15 мин
земляничное пюре	540 ± 15 мин
земляника	420 ± 15 мин
творог	140 ± 6 мин.

Выведены уравнения продолжительности сушки, достаточно точно описывающие момент окончания сушки в сублиматоре.

6. Исследован процесс досушивания частично сублимированных продуктов на этапе удаления остаточной влаги в развитой стадии кипящего слоя. Установлена эмпирическая зависимость продолжительности досушивания от температуры сушильного агента, описываемая уравнением прямой линии.

7. Определены оптимальные режимы досушивания исследуемых продуктов в развитой стадии кипящего слоя:

температура сушильного агента	65 - 70°C
скорость сушильного агента	2,2-2,5 м/сек.

Продолжительность досушивания при этом составляет 30 минут.

8. Проведена сравнительная оценка качественных показателей продуктов сублимационной и комбинированной сушки. Установлено, что по всем качественным показателям продукты комбинированной сушки не уступают сублимированным продуктам.

9. Предложена технологическая схема получения сухих продуктов комбинированным способом сушки. Производственная проверка на производственно-экспериментальном заводе ВНИМИ (на примере творога) дала положительные результаты. Расчетный годовой экономический эффект от ее внедрения составит 81,8 тыс.руб.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Гришин М.А., Чагаровский В.П. Применение комбинированного метода сушки. - Тезисы докладов научно-технической конференции "Интенсификация процессов производства сухих мясных и молочных продуктов", октябрь 1979г., г.Волковск, с. 70
2. Гришин М.А., Чагаровский В.П. Исследование процесса сублимационного обезвоживания фруктовых пюре с досушиванием вне сублиматора. - Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции "Перспективы развития производства консервной продукции для детского питания", январь 1980г., г.Одесса, с. 36-37
3. Чагаровский В.П. Экспериментальная установка сублимационной сушки. - Материалы республиканской научной конференции молодых ученых по вопросам пищевой промышленности, посвященной 110-летию со дня рождения В.И.Ленина, апрель 1980г., г.Тбилиси, ГрузНИИ, с. 93-94

