

**ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ИРРИГАЦИИ И МЕЛИОРАЦИИ
(ТИИМ)**

На правах рукописи

УДК 631.365.23:635.1/.8:66.047.2

РАДКЕВИЧ МАРИЯ ВИКТОРОВНА

**ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВКИ ДЛЯ СУШКИ ПИЩЕВЫХ ТРАВ
(ЗЕЛЕНИ)**

05.20.01 - Механизация сельскохозяйственного производства

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ташкент-2006г

Работа выполнена в Ташкентском институте ирригации и мелиорации

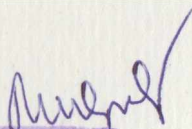
- Научный руководитель - доктор технических наук
ШАЙМАРДАНОВ Б.П.
- Официальные оппоненты: - доктор технических наук, профессор,
академик АН РУз
ГЛУЩЕНКО А.Д.
- кандидат технических наук
ФАРМАНОВ Э.Т.
- Ведущая организация: ОАО «БМКБ-Агромаш»

Защита состоится 31 октября 2006г. в 13⁰⁰ часов на заседании специализированного совета К.120.06.01 при Ташкентском институте ирригации и мелиорации по адресу: 100000, г. Ташкент, ул. Кори-Ниёзи 39, ТИИМ.

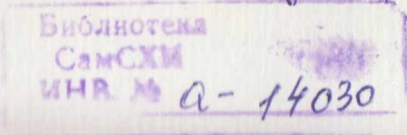
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ТИИМ.

Автореферат разослан 28 сентября 2006г.

Ученый секретарь
специализированного совета



Р.К. МУСУРМАНОВ



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИИ

Актуальность работы. Сушеная зелень широко применяется в пищевой промышленности. Существующие в РУз сушильные технологии не обеспечивают достаточно высокого качества сушеной зелени, т.к. при их применении искажаются присущие зелени цвет и аромат, очень велики потери витаминов (до 80-85%). Все эти недостатки указывают на необходимость организации сушильных производств, базирующихся на передовых технологиях. О важности этого вопроса для Республики Узбекистан свидетельствует Распоряжение Президента Республики Узбекистан «Об образовании Рабочей группы по подготовке предложений по обеспечению фермерских хозяйств современным оборудованием и минитехнологиями для переработки плодоовощной продукции» от 7 июля 2006г. Исходя из вышеизложенного, можно утверждать, что исследования по разработке технологий и технических средств, обеспечивающих получение качественной сушеной зелени, актуальны.

Степень изученности проблемы. Отдельными вопросами сушки пищевых трав занимались Г.К. Филоненко, З.А. Кац, И.И. Рахматов. Исследования по сушке зелени под прижимом в разреженной среде до настоящего времени не проводились.

Связь диссертационной работы с тематическими планами НИР. Работа выполнена в соответствии с темой 2006г. ГНТП-6 «Разработка эффективных технологий производства, переработки и хранения сельскохозяйственной продукции, обеспечивающих производство высококачественной продукции» и проектом А-6-175 «Разработка технологии и оборудования для обезвоживания сельскохозяйственных продуктов (фрукты, овощи, зелень)» на 2006-2009г.г. ЦНИТ.

Цель исследований. Целью исследований является разработка научно-обоснованных параметров установки для сушки пищевых трав (зелени) в разреженной среде.

Задачи исследования. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- определение физико-механических и теплофизических характеристик наиболее распространенных видов пищевых трав;
- теоретически обоснованный выбор некоторых конструктивных и технологических параметров установки и их экспериментальная проверка;
- создание опытного образца вакуум-контактной сушильной установки и экспериментальное исследование процесса сушки;
- теоретически обоснованный выбор уравнения, позволяющего производить расчет продолжительности процесса.

Научная и практическая значимость результатов работы. Научная новизна работы заключается в том, что в ней впервые исследованы и установлены:

- физико-механические и теплофизические характеристики пищевых трав;
- исследована сушка пищевых трав в разреженной среде под прижимом;
- разработана и научно обоснована форма прижимного органа;
- получены основные параметры режима сушки;
- теоретически обоснована и экспериментально подтверждена возможность применения модифицированного уравнения Э.И. Гуйго для математического описания процесса сушки в разреженной среде и определены необходимые для расчета коэффициенты;
- разработана методика расчета установок для сушки зелени.

Практическая ценность работы заключается в техническом решении процесса сушки зелени в разреженной среде; в предложении применения гелиоводонагревателя, обеспечивающего сокращение энергозатрат; в разработке технологических режимов, позволяющих получать высококачественную сушеную зелень и высокую экономическую эффективность; в возможности использования полученных результатов при разработке и оптимизации режимно-конструктивных параметров установок по переработке зелени. Новизна технических решений подтверждена решением государственного патентного ведомства РУз от 5.06.2006г. о выдаче патента на изобретение по заявке IAP 20040188 «Устройство для сушки пищевых продуктов».

Реализация результатов. По результатам исследований разработаны рабочие чертежи и изготовлен опытный образец вакуум-контактной сушильной установки для зелени, прошедшей испытания в производственных условиях корпорации «Ильдиз», г. Ташкент в 2003...2004 гг. Сушильная установка ныне работает в цехах корпорации «Ильдиз».

Апробация работы. Отдельные вопросы диссертационной работы докладывались и получили одобрение на научно-технической конференции для магистрантов и аспирантов в ТИИМСХ (2003г); Международной научно-практической конференции «Углубление интеграции образования, науки и производства в сельском хозяйстве Узбекистана» в ТашГАУ (г. Ташкент, 2003г.); Республиканской научно-практической конференции для магистрантов и аспирантов ТГТУ (г. Ташкент, 2003г.); Республиканской научно-практической конференции «Проблемы эффективного использования энергии в отраслях агропромышленного комплекса» ТИИМСХ (г. Ташкент, 2003 г.); а в полном объеме докладывались на объединенном научном семинаре профессорско-преподавательского состава кафедр факультета «Автоматизация и механизация водного хозяйства» ТИИМ (2006г); на научных семинарах по проблемам механизации сельскохозяйственного производства в ИМСС АН Республики Узбекистан (г. Ташкент, 2006г.), УзМЭИ (п. Гульбахор, 2006г.) и ТИИМ (г. Ташкент, 2006г.).

Публикации. По результатам исследований по теме диссертации опубликованы 9 статей, в том числе 6 журнальных.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, выводов по каждой главе, заключения и списка использованной литературы. Работа изложена на 121 странице компьютерного текста в системе Word, содержит 38 рисунков и 15 таблиц, список литературы из 95 наименований и 8 приложений.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность работы, определены цель и задачи исследования.

В первой главе «К вопросу о выборе способа сушки пищевых трав» проведен анализ современных способов тепловой сушки. С точки зрения максимальной сохранности природных свойств пищевых трав при невысоких энергозатратах для их сушки выбрана вакуум-контактная сушка (при остаточном давлении в камере около 13,3 кПа). Рассмотрены конструкции вакуум-контактных сушилок для различных материалов. Для дальнейшей разработки выбрана полочная конструкция. Для повышения эффективности ее работы предложены следующие пути: 1) использование геливодонагревателя в качестве источника тепла для нагрева теплоносителя (воды); 2) применение прижима материала к греющей поверхности.

Во второй главе «Свойства пищевых трав как объектов сушки» рассмотрены некоторые свойства пищевых трав, производимых в Узбекистане (укроп, петрушка, сельдерей, кинза, базилик, зеленый лук), как объектов сушки.

Физико-механические, теплофизические и гигроскопические свойства трав в связи с недостаточностью и противоречивостью сведений в литературе определялись экспериментально. Анализ построенных кривых сорбции показывает, что зелень, высушенную до остаточной влажности 13-14% можно хранить при температуре 20 °С и влажности воздуха $\phi < 35\%$ без опасности увеличения влажности сушеной зелени. Зелень, высушенную до меньшей остаточной влажности (6-8%), необходимо хранить в герметичной упаковке.

Проведены предварительные эксперименты по конвективной сушке зелени, как базовые для дальнейших исследований. Переменными факторами приняты: температура сушки, степень измельчения и плющения трав. Проведен регрессионный анализ, в результате которого выявлено: главным значимым фактором является температура сушки; плющение и длина резки оказывают незначительное влияние на продолжительность сушки. На основании этого сделан вывод о возможности исключения операций резки и плющения трав из технологического процесса.

Установлено, что травы, высушенные при температуре 50 °С, сохраняют яркий зеленый цвет и характерный для каждой травы запах с небольшим искажением. При температуре сушки 70 °С зелень приобретает желтовато-бурый оттенок и запах заметно искажен. Определены

влагопотери в процессе сушки и построены кривые конвективной сушки зелени, на которых фиксируется 3 периода: 1) прогрева; 2) постоянной скорости; 3) досушивания.

В третьей главе «Теоретические предпосылки для обоснования режимных и конструктивных параметров сушильной установки» приведены некоторые выдержки из теории тепло- и массообмена, относящиеся к контактной и вакуум-контактной сушке.

Процессы контактной сушки разделяются на два вида: а) низкотемпературная (с температурой греющей поверхности ниже температуры кипения в контактном слое); б) высокотемпературная (с температурой греющей поверхности выше температуры кипения воды в контактном слое).

Интенсивность испарения воды с поверхности материала при низкотемпературном процессе выражается уравнением Дальтона:

$$j_n = \frac{M}{\tau} = \alpha_m \cdot (p_M - p_K), \quad (1)$$

где j_n – скорость испарения (плотность потока пара), кг/м²·ч;

M – масса испаренной воды, кг/м²;

τ – время испарения, ч;

α_m – коэффициент испарения;

p_M – давление насыщения при температуре материала, кПа;

p_K – давление насыщения при температуре конденсации, кПа.

При высокотемпературной сушке в контактном слое возникает процесс внутреннего парообразования и создается градиент общего давления внутри тела. Интенсивность испарения в этом случае определяется более сложной зависимостью. Для сушки пищевых трав предполагается использовать высокотемпературный процесс, как более интенсивный.

Слой трав, даже под прижимом, обладает значительной рыхлостью, а следовательно, паропроводностью. Поэтому интенсивное парообразование в контактном слое не может создать в нем значительного градиента давления как в случае более плотного материала. Следовательно, явления тепло- и массопереноса будут происходить подобно явлениям при низкотемпературной сушке. Это позволяет воспользоваться уравнением Дальтона при определении режимов (температуры и давления разрежения) вакуум-контактной сушки пищевых трав, позволяющих обеспечить минимальное время сушки при сохранении качества продукта. Разрежение в сушильной камере должно быть таким, чтобы обеспечивать закипание жидкости в контактном слое.

Произведено преобразование уравнения Дальтона, позволившее представить время испарения в виде функции от давления насыщения, соответствующего температуре материала (температуре в сушильной камере):

$$\tau = \frac{K}{(p_m - p_n)}, \quad (2)$$

где $K = M/\alpha_m$.

Температура конденсации принята равной температуре водопроводной воды $t=20^\circ\text{C}$. Соответствующее этой температуре давление насыщения $p_k=2,53$ кПа. Подставляя это значение в уравнение (2), получили:

$$\tau = \frac{K}{(p_m - 2,53)}$$

Температуры были заданы в пределах сохраняемости качества материала ($40-70^\circ\text{C}$). Определив соответствующие этим температурам значения p_m , вычислили τ для каждого p_m . По полученным результатам построен график зависимости времени сушки от степени разрежения в камере (рис. 1).

График зависимости времени сушки от степени разрежения и температуры в сушильной камере

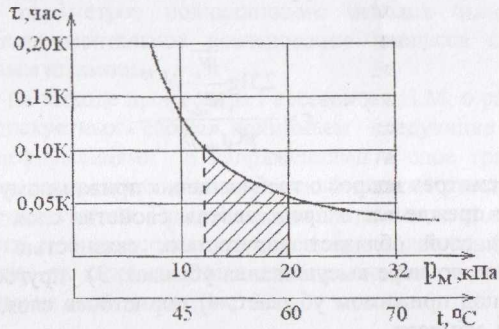


Рис. 1

Рациональная с точки зрения продолжительности процесса и гарантированного сохранения качества зелени область давлений 13,17...20,26 кПа достигается при $t = 50-60^\circ\text{C}$. При температурах $> 60^\circ\text{C}$ ухудшаются качественные показатели продукции, а при изменении температуры от 50 до 40°C (давление разрежения менее 13,17 кПа) продолжительность процесса возрастает в 1,5 раза. Таким образом, для обеспечения возможно меньшей продолжительности процесса при условии гарантированного сохранения качества продукции принимаем $t = 50-60^\circ\text{C}$; $p = 13,17...20,26$ кПа

Для расчета продолжительности сушки предложено очень много уравнений (Филоненко Г.К., Лыков А.В., Гуйго Э.И. и др.). Уравнение Гуйго используется при расчете продолжительности сублимационной и вакуумной сушки. На основании известных данных об интенсивных процессах сушки

толстых материалов сделано предположение, что при вакуум-контактной сушке слоя пищевых трав процесс может происходить без периода постоянной скорости (только в стадии досушивания). Это предположение позволяет предварительно принять для дальнейших исследований только часть уравнения Э.И. Гуйго, относящуюся к стадии досушивания:

$$\tau = \frac{2,31g \frac{\bar{W}_n}{W_{кон}} h^{0,75}}{K_l t_{кон}^{0,5} p_c^{0,2}}, \quad (3)$$

где W_n и $W_{кон}$ — соответственно начальное и конечное влагосодержание материала, %;

h — толщина слоя, м;

K_l — приведенный коэффициент скорости сушки, м³/(ч·Н·град);

$t_{кон}$ — конечная температура материала, °С;

p_c — давление в сушильной камере, кПа.

Теоретически определено значение коэффициента $K_l = 3,4 \cdot 10^{-3}$ м³/(ч·Н·град). Поскольку уравнение Гуйго не учитывает давления прижима материала, для расчета длительности процесса сушки трав под прижимом мы вводим в уравнение коэффициент давления прижима γ . Уравнение примет вид:

$$\tau = \frac{2,31g \frac{\bar{W}_n}{W_{кон}} h^{0,75}}{\gamma K_l t_{кон}^{0,5} p_c^{0,2}}, \quad (4)$$

Далее рассмотрен вопрос о требованиях к прижимному устройству.

Для этого прежде всего представлены свойства слоя трав как объекта прижима: 1) слой обладает упругостью, связностью и пористостью, 2) толщина слоя по мере высушивания убывает, 3) упругость слоя по мере высушивания под прижимом убывает, 4) пористость слоя, высушиваемого под прижимом, убывает.

На основании перечисленных свойств можно сделать следующие выводы:

1. В начальный период сушки пористость слоя обеспечивает большую поверхность испарения, поэтому не требуется значительной открытой поверхности слоя.

2. В конечном периоде сушки при значительно уплотненном слое для обеспечения достаточной скорости сушки требуется большая открытая поверхность слоя.

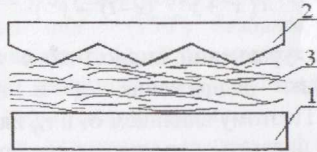
К прижимному устройству предъявляются следующие требования:

1. Обеспечение максимальной теплопередачи к слою материала.
2. Обеспечение увеличивающейся по ходу процесса поверхности испарения.

Кроме того, прижимное устройство должно создавать достаточную степень уплотнения по всей толщине слоя и служить емкостью для теплоносителя (воды).

Указанным требованиям может удовлетворять поликлиновой штамп (рис. 2).

Поликлиновой штамп



1 — полка-нагреватель, 2 — поликлиновой штамп, 3 — слой травы

Рис. 2.

В начале сушки он внедряется в слой на некоторую глубину, оставляя при этом несжатые зоны для выхода пара. К концу сушки, когда слой уплотнен, глубина погружения клиньев штампа уменьшается, за счет чего увеличивается открытая поверхность слоя, необходимая для выхода пара.

Для выбора параметров поликлинового штампа было проведено теоретическо - экспериментальное исследование процесса сжатия слоя травы поликлиновым штампом.

Основываясь на выводе профессора Герсеванова Н.М. о распределении напряжений в дискретных слоях, принимаем следующие допущения: 1) связь между деформациями и напряжениями в слое травы линейна; 2) различия между распределением напряжений в слое травы и сплошном упругом теле не существенны. При указанных допущениях для обоснования параметров штампа можно использовать решение задач линейной теории упругости. Нагрузку от каждого клина штампа можно рассматривать как полосовую нагрузку на слой травы (рис. 3).

Напряженное состояние в полупространстве под полосовой нагрузкой

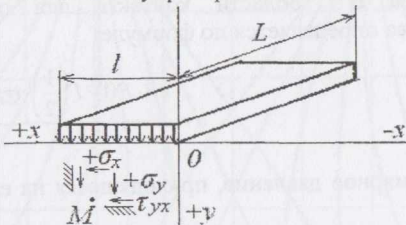


Рис. 3

Плоское напряженное состояние в любой точке «М» полупространства с координатами x, y характеризуется тремя компонентами напряжений: σ_x, σ_y и τ_{yx} , которые для данной задачи определяются по формулам Яропольского И.В.:

$$\sigma_y = \frac{q}{\pi} \left[\operatorname{arctg} \frac{x}{y} + \frac{xy}{x^2 + y^2} - \operatorname{arctg} \frac{x-l}{y} - \frac{(x-l)y}{(x-l)^2 + y^2} \right] \quad (5)$$

$$\sigma_x = \frac{q}{\pi} \left[\operatorname{arctg} \frac{x}{y} - \frac{xy}{x^2 + y^2} - \operatorname{arctg} \frac{x-l}{y} + \frac{(x-l)y}{(x-l)^2 + y^2} \right] \quad (6)$$

$$\tau_{xy} = -\frac{q}{\pi} \left[\frac{y^2}{x^2 + y^2} - \frac{y^2}{(x-l)^2 + y^2} \right] \quad (7)$$

Из приведенных уравнений видно, что с удалением точки «М» от приложенной нагрузки напряжения σ_x и τ_{xy} убывают значительно интенсивнее, чем σ_y . Поэтому влиянием σ_x и τ_{xy} на деформируемость массива можно пренебречь и полагать, что уплотнение происходит, в основном, под действием сжимающих напряжений σ_y , направление которых совпадает с направлением приложенной нагрузки. Исходя из линейности связи между напряжениями и деформациями, можно определить область массива с любой одинаковой плотностью в пределах поставленной задачи.

При решении задачи клиновидная подошва штампа условно заменяется плоской. Для вычисления σ_y в различных точках слоя материала необходимо определить ширину области контакта штампа с материалом. Для этого использовано решение задачи теории упругости о внедрении в полуплоскость неограниченного клина (рис. 4), выполненное Рвачевым В.Л. и Проценко В.С.

Внедрение неограниченного клина в полуплоскость

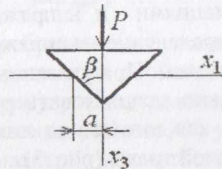


Рис. 4.

Полуширина a области контакта для однородного ($E = \text{const}$) полупространства определяется по формуле:

$$a = \frac{2P \cdot \Gamma(1) \cdot \Gamma\left(\frac{1}{2}\right) \cdot \operatorname{tg} \beta}{E^* \cdot \pi}, \quad (8)$$

где P — суммарное давление, приходящееся на единицу длины штампа, Н/мм;

E^* — модуль упругости материала при отсутствии возможности бокового расширения, Н/мм²;

2β — угол заострения клина.

Данные о модуле упругости E^* в литературе отсутствуют. Опытным путем установлено соотношение:

$$\frac{E_{нач}^*}{E_{кон}^*} \approx 2,0, \quad (9)$$

где $E_{нач}$ – модуль упругости первоначально уложенного слоя;
 $E_{кон}$ – модуль упругости подсушенного уплотненного слоя.

Для решения задачи по определению σ_y в различных точках слоя был использован искусственный прием:

1. Задали некоторые углы заострения клина (120° , 150° , 165°).
2. Считая один из них (150°) базовым, приняли для него произвольно ширину зоны контакта ($2a=75\text{мм}$ при шаге $t=110\text{мм}$).
3. По соотношению тангенсов и формуле (8) определили a для клиньев с другими углами заострения и шагами.
4. Определили σ_y в различных точках слоя, выразив σ_y через неизвестную пока распределенную нагрузку q и построили графики изобар.
5. Экспериментально получили значение нагрузки, при которой обеспечивается принятая ранее ширина зоны контакта, что позволило определить значения напряжений в различных точках слоя.

В качестве критерия оценки полученных результатов принята толщина неуплотненной зоны в начале процесса. Неуплотненной предварительно считаем зону $\sigma_y \leq 0,15q$. На рис.5 показаны изобары σ_y в слое материала для штампа с углом клина 150° и шагом 110мм.

Для выбора оптимального варианта штампа введено ограничение: толщина неуплотненной зоны в начале процесса не должна превышать 20-25мм. Это ограничение объясняется тем, что, как показали эксперименты, сушка успешно протекает без уплотнения при указанной толщине слоя.

Изобары давлений в слое материала для клина $t=110\text{мм}$, $2\beta=150^\circ$

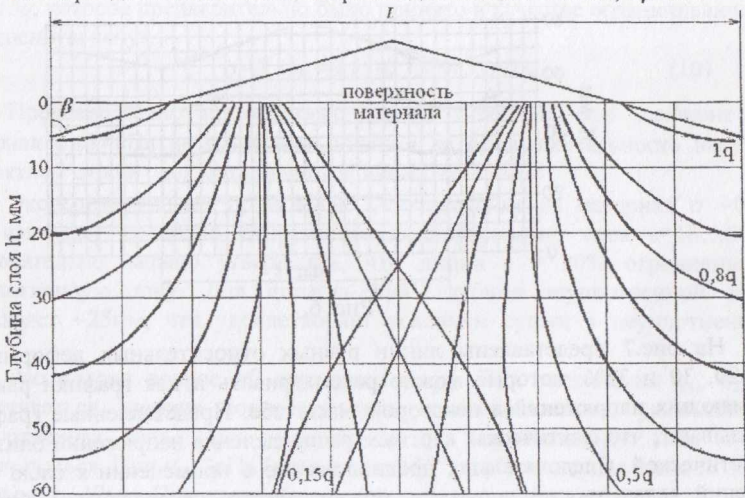


Рис. 5

С точки зрения размеров неуплотненной зоны наилучшим является вариант $2\beta=150^\circ$, $t=110\text{мм}$. При $2\beta=120^\circ$ нагрузка на материал наиболее высока и составляет к концу процесса $4q$. Штамп с углом клина $2\beta=165^\circ$ приближается к плоскому, и неуплотненная зона практически отсутствует. Для определения фактической картины распределения давлений под различными штампами, для определения значений q и $2a$ были изготовлены макеты штампов с углами клиньев 120° , 150° и 165° и шагом 110мм . Штамп вдавливался в слой материала высотой $h=100\text{мм}$ с ограниченным боковым расширением с помощью грузов. Путем подбора грузов получили фактическое погружение штампа 150° в материал до ширины области контакта $2a \approx 70\text{мм}$. При этом среднее давление на материал (отношение силы прижатия к площади горизонтальной проекции штампа) составило $q_{cp}=1,5\text{кПа}$.

В работе приведены размеры зоны контакта для различных штампов, полученных теоретически и экспериментально. Целостность тканей в сжимаемом слое проверялась с помощью полосок фильтровальной бумаги, закладываемых в слой. Для проверки размеров неуплотненной зоны, а также для определения картины распределения напряжений в материале, в слой травы толщиной 100мм в определенных точках помещались контрольные стержни (расстояние между горизонтальными рядами 25мм , шаг 15мм).

После нагружения фиксировалось новое положение стержней. На рис. 6 представлены линии расположения контрольных стержней по толщине слоя материала при $2\beta=150^\circ$ и $q=1,5\text{кПа}$. По разнице положений стержней до и после нагружения определены деформации в различных зонах слоя.

Линии расположения контрольных стержней по толщине слоя материала при угле клина 150° и $q_{cp}=1,5\text{кПа}$

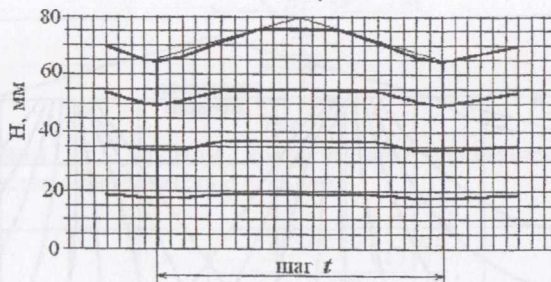


Рис. 6.

На рис.7 представлены линии равных относительных деформаций $\varepsilon = 20, 30$ и 35% , которые можно рассматривать и как графики равных сжимающих напряжений в некотором масштабе. Представленные графики показывают, что фактическая картина распределения напряжений близка к теоретической. Следовательно, предположение о применении к слою трав решений задач теории упругости можно считать справедливым. Опыты показали, что при использовании клина с углом 120° в слое травы

наблюдалось выдавливание сока. Это явление можно объяснить тем, что, как показали теоретические исследования, удельная нагрузка на материал при таком клине больше, чем при 150° и 165° и, кроме того, она удваивается по ходу процесса. Экспериментально подтверждено предположение об уменьшении ширины зоны контакта по ходу процесса сушки.

Линии равных относительных деформаций (%) в материале при угле клина 150° и $q_{cp}=1,5\text{кПа}$

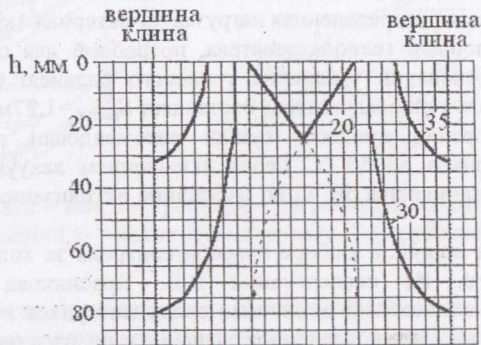


Рис. 7.

Определенная экспериментально ширина зоны контакта позволила определить фактическую распределенную нагрузку под каждым клином штампа ($2\beta=150^\circ$, $t=110\text{мм}$) $q=2,36\text{кПа}$.

Полученная величина q позволила определить значение напряжения $\sigma_y=0,15q$, которое предварительно было принято в качестве ограничивающих уплотненную зону:

$$\sigma=0,15q=0,15 \cdot 2,36=0,35\text{кПа} \quad (10)$$

Предварительно проведенные опыты показали, что давление на материал $\sigma \leq 0,4\text{кПа}$ не оказывает влияния на продолжительность вакуум-контактной сушки слоя материала толщиной 20-25 мм.

Экспериментально установлено, что давление на материал $\sigma=0,35\text{кПа}$ вызывает среднюю относительную деформацию слоя $\varepsilon=18...20\%$. Следовательно, можно утверждать, что линии $\varepsilon=20\%$ ограничивают неуплотненную зону. Для штампа 150° глубина неуплотненной зоны составляет $\sim 25\text{мм}$, что удовлетворяет условиям сушки в неуплотненном слое.

Рассмотрен вопрос об ограничении q_{cp} . При увеличении q_{cp} будет увеличиваться ширина зоны контакта и следовательно, уменьшаться неуплотненная зона. При уменьшении q_{cp} неуплотненная зона будет увеличиваться. При $q_{cp}=2\text{кПа}$ (угол клина 150°) глубина неуплотненной зоны составляет $\sim 12\text{мм}$. При дальнейшем увеличении нагрузки штамп полностью погружается в материал, неуплотненная зона исчезает и штамп перестает работать как клиновой. При $q_{cp}=1\text{кПа}$ глубина неуплотненной зоны

составляет ~ 40 мм, при $q_{cp}=0,5$ кПа глубина ~ 70 мм. Исходя из этого, дальнейшие опыты по вакуум-контактной сушке под прижимом ограничены давлениями $1 \text{ кПа} \leq q_{cp} \leq 2 \text{ кПа}$.

Проведенное теоретическо-экспериментальное исследование внедрения поликлиновых штампов в слой травы позволило принять и обосновать следующие параметры:

- угол при вершине клина $2\beta=150^\circ$;
- шаг между вершинами клиньев $t=110$ мм;
- средняя распределенная нагрузка на материал $1 \text{ кПа} \leq q_{cp} \leq 2 \text{ кПа}$.

Расчет площади гелионагревателя, потребной для сушки 1 кг сырья выполнен на основании уравнения теплового баланса. Определено, что удельная площадь гелионагревателя составляет $S_{наг.уд.}=1,27 \text{ м}^2/\text{кг}$.

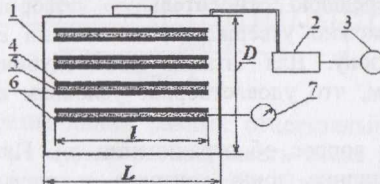
Для ускорения процесса сушки рекомендован предварительный подогрев материала до 50°C перед включением вакуума. Температура подогрева ограничивается 50°C во избежание активизации окислительных процессов.

Рассмотрен вопрос о выборе способа контроля за ходом процесса без прерывания его. Из исследований В.В. Красникова известно, что температура и влажность в различных слоях материала в каждый момент времени имеют вполне определенное значение и по этим параметрам можно контролировать ход процесса. Принят метод контроля процесса по температуре материала.

В четвертой главе «Экспериментальные исследования режимов сушки пищевых трав» приводится описание экспериментальной установки для вакуум-контактной сушки пищевых трав, рассчитанной на одновременную загрузку до 10-15 кг сырья. Принципиальная и технологическая схемы представлены на рисунках 8 и 9.

Для выяснения эффективности прижима была проведена сравнительная сушка без прижима и экспериментально определено значение приведенного коэффициента скорости сушки K_1 (при сушке без прижима). Оно составило $3,324 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{Н} \cdot \text{К})$. Отклонение от теоретического значения составляет 4,7%. Т.е., можно сказать, что найденное значение K_1 достоверно.

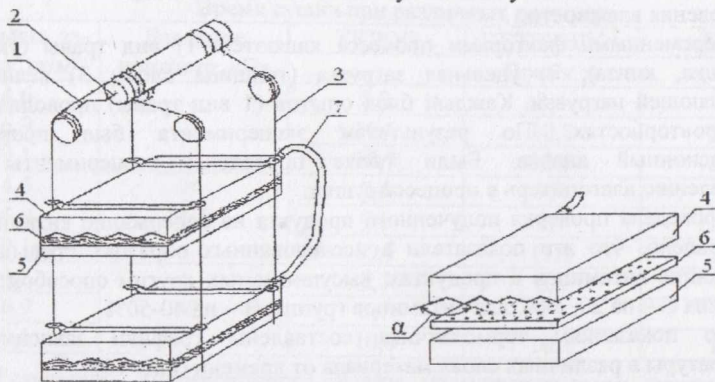
Принципиальная схема экспериментальной установки



1 – сушильная камера; 2 – конденсатор; 3 – вакуумный насос; 4 – неподвижные полки-нагреватели; 5 – сетчатые лотки; 6 – подвижные нагреватели; 7 – термоматчик

Рис. 8

Технологическая схема сушильной установки



1 – рукоятка, 2 – вал, 3 – тросик, 4 – нагреватель верхний, 5 – нагреватель нижний, 6 – лоток для материала, 7 – труба гибкая

Рис. 9.

- Основные эксперименты проведены при рабочих характеристиках процесса:
- температура греющей воды в полостях нижней и верхней плиты 63...64 °С;
 - давление в сушильной камере 13...20 кПа;
 - удельная загрузка материала 4,6; 6,9 и 9,1 кг/м² (что примерно соответствует начальной толщине слоя 30-35; 40-45 и 60-65 мм);
 - прижатие материала к плите давлением 1; 1,5 и 2 кПа за счет массы верхней плиты и дополнительных грузов

Технологический процесс состоит из трех этапов:

1. Подготовка материала: мойка и обсушивание, освобождение от примесей, а также от толстых и длинных стеблей, отбор пробы для определения исходной влажности материала.

2. Предварительный прогрев без вакуума. Материал раскладывается на противень и в него на разных уровнях закладываются 4 датчика температуры (терморезисторы), замеряется исходная температура материала. Противень устанавливается на греющую плиту, включается водяной насос, подающий в полость плиты горячую воду. Сушильная камера герметически закрывается и начинается прогрев материала. По датчику I, находящемуся между греющей поверхностью и слоем материала, контролируется температура подогрева t_n . При достижении $t_n = 50 \pm 1$ °С включается вакуум-насос. После включения вакуума температура материала может быть повышена, т.к. в условиях вакуума окислительные процессы замедляются.

3. Сушка в разреженной среде. Требуемая степень разрежения достигается в течение 12...15 мин. Температура по всем датчикам замеряется каждые 30 мин. При достижении самым «холодным» датчиком температуры $t = 56...57^\circ$ насосы отключаются, давление в сушильной камере поднимается до атмосферного, камера открывается.

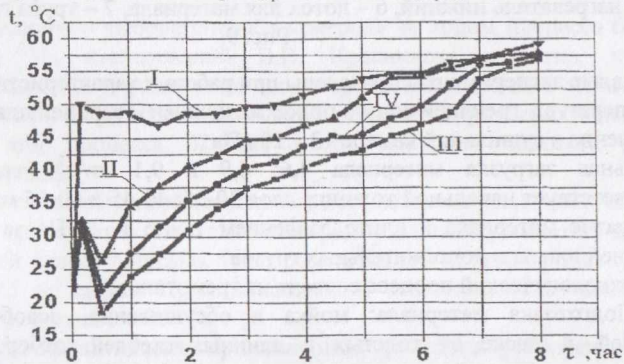
Высушенный продукт извлекается, взвешивается, берется проба для определения влажности.

Переменными факторами процесса являются: 1) вид травы (укроп, петрушка, кинза); 2) удельная загрузка (толщина слоя); 3) величина уплотняющей нагрузки. Каждый блок опытов (1 вид травы) проводился в 3-х повторностях. По результатам эксперимента был проведен дисперсионный анализ. Были также проведены эксперименты по определению влагопотерь в процессе сушки.

Проведена проверка полученного продукта на содержание витаминов. Установлено, что эти показатели в исследованных образцах превышают содержание витаминов в продуктах, высушиваемых другим способом: для витамина С – на 20-25%, для витаминов группы В – на 40-50%.

По показаниям термодатчика составлены графики зависимости температуры в различных слоях материала от времени (рис. 10).

График $t-t$ для кинзы при $q_{\text{ср}}=4,6 \text{ кг/м}^2$ и $p_{\text{приж}}=1,5 \text{ кПа}$



I, II, III, IV – номера термодатчиков

Рис. 10

Анализ графиков показывает, что с течением времени нарастание температуры во всех слоях материала снижается, кривые всех датчиков сближаются, что свидетельствует об окончании процесса сушки. Таким образом с помощью графиков было установлено необходимое время сушки различных трав при каждом режиме (табл. 1). Контрольные опыты без предварительного прогрева материала показали, что подогрев позволяет снизить продолжительность сушки на 6...7%.

Время сушки при различных режимах

Удельная за- грузка, кг/м ²	Давление прижима, кПа	УКРОП	ПЕТРУШКА	КИНЗА
		Время, ч		
4,6	1	8,2	8,4	8,8
6,9		10,6	10,7	11,9
9,1		12,7	13,5	13,7
4,6	1,5	7,6	7,4	8,2
6,9		9,6	9,0	9,9
9,1		10,7	11,0	12,6
4,6	2	6,7	6,5	7,3
6,9		8,7	8,7	9,6
9,1		10,0	10,1	12,1

Результаты дисперсионного анализа, упомянутого выше, показывают, что биологические особенности структуры различных трав оказывают достоверное ($F = 29,44$), хотя и малозначащее ($\eta^2 = 5,57\%$) влияние на время высушивания материала. На время сушки материала главным образом влияет удельная нагрузка на греющую поверхность ($F = 363,75$; $\eta^2 = 68,82\%$). Значительное влияние на длительность процесса сушки оказывает величина прижатия материала к греющей поверхности ($F = 104,7$; $\eta^2 = 19,94\%$).

По результатам экспериментов была произведена оптимизация сушильной установки по производительности. В среде MATLAB был построен график зависимости производительности сушильной установки от толщины слоя (рис. 11). Кривая производительности представляет собой параболу, следовательно, оптимум будет находиться в точке ее перегиба. Уравнение кривой получено в среде MATLAB:

$$Q = -187,8645 \cdot h^2 + 24,2157 \cdot h + 0,0967 \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}} \right] \quad (11)$$

Полученная из этого уравнения оптимальная толщина слоя равна $h=0,064\text{м}$, что соответствует удельной нагрузке $q = 9,1\text{кг/м}^2$.

В нашем случае поиск рационального (с точки зрения пропускной способности установки) режима в первую очередь связан с продолжительностью светового дня, т.е. с возможной продолжительностью работы гелионагревателей. Для получения максимальной возможно производительности сушильной установки при работе с гелиоводонагревателями можно рекомендовать следующие режимы:

Май – август: удельная нагрузка $4,6\text{ кг/м}^2$; давление прижима 2 кПа .

Сентябрь – ноябрь: удельная нагрузка $9,1\text{ кг/м}^2$; давление прижима 2 кПа .

При этом пропускная способность установки составит: с мая по август $Q=1,24\text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч}$ (2 сушки за один день), с сентября по ноябрь $Q=0,76\text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч}$. При сушке до влажности 13-14% количество загрузок может быть увеличено.

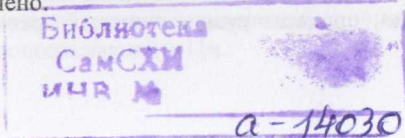


График зависимости пропускной способности от толщины слоя

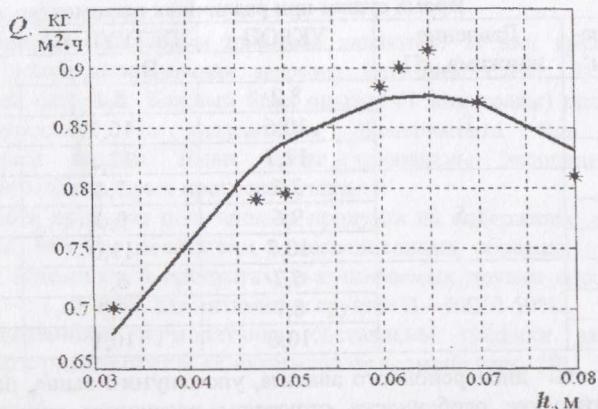


Рис. 11.

Проведено исследование зависимости пропускной способности от удельной загрузки и степени прижатия материала. При увеличении толщины слоя и давления на материал несмотря на возрастание продолжительности сушки происходит увеличение пропускной способности установки (приблизительно в 2,3 раза по сравнению с сушкой без прижима).

По результатам экспериментов по определению влагопотерь в процессе сушки были построены кривые сушки по средним данным для укропа, петрушки, кинзы и зеленого лука. На рис.12 представлены теоретическая (построенная по ф-ле (4)) и экспериментальная кривые сушки при давлении прижима 2 кПа.

Кривая сушки пищевых трав

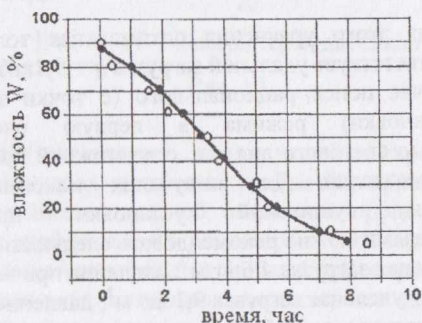


Рис. 12

Расхождение экспериментальных и теоретических кривых составляет в среднем 6,7–10%. Следовательно, можно заключить, что сделанное ранее (гл. 3) предположение о протекании процесса сушки пищевых трав без

периода постоянной скорости (в области досушивания) верно. Это означает что для расчета времени процесса можно использовать формулу (4).

По экспериментальным данным определен приведенный коэффициент давления прижима γ для различных значений давления на материал (табл. 2).

Таблица 2

Коэффициент давления прижима γ			
Давление на материал, кПа	1	1,5	2
Коэффициент давления прижима γ	1,07	1,25	1,37

По выбранной формуле, пользуясь данными о физико-механических характеристиках сырья, приведенными в гл.2, задавая параметры режима (p_c , $t_{кон}$), зная значение коэффициентов K_1 и коэффициент γ , можно с достаточной степенью точности определить время протекания процесса, что важно для предварительных инженерных и технико-экономических расчетов вакуумных сушильных установок.

Предложен порядок расчета сушильной установки для пищевых трав любой производительности. Также произведена экономическая оценка предложенной сушильной установки. За базу для сравнения была принята полупромышленная сушильная установка барабанного типа UVQA 0.3-01/02, работающая в цехах корпорации «Ildiz». По сравнению с этой установкой предлагаемая сушильная установка дает экономический эффект 497,21 тысяч сумов в год.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Существующие на отдельных предприятиях РУз технологии и технические средства сушки зелени энергоемки и не обеспечивают требуемого качества продукции. Одним из возможных путей повышения качества сушеной зелени является сушка в разреженной среде. Решением проблемы снижения энергозатрат является кондуктивный подвод тепла с теплоносителем – горячей водой и применение гелиоводонагревательных элементов.

2. Для интенсификации процесса выделения влаги из слоя зелени и повышения равномерности сушки необходим принудительный прижим материала к гребущей поверхности и двусторонний подвод тепла.

3. Прижимное устройство для сушки зелени должно представлять собой металлическую емкость для теплоносителя. Рабочая поверхность должна выполняться поликлиновой с углом заострения 150° и шагом 110мм.

4. Наилучший режим сушки зелени с максимальным сохранением цвета, ароматичности и содержания витаминов обеспечивается при давлении разрежения $p=13,2 - 20,25$ кПа; температуре в контактном слое $t=50-60^\circ\text{C}$ и давлении прижатия слоя зелени к полке $q = 1,8...2$ кПа при удельной загрузке материала до $9,1\text{кг/м}^2$. При этом продолжительность процесса равна 10-11ч.

5. Для работы с гелиоводонагревателями рекомендованы следующие режимы: май-август – удельная загрузка $4,6 \text{ кг/м}^2$, $P_{\text{приж}}=2 \text{ кПа}$ (2 загрузки в день); сентябрь-ноябрь – удельная загрузка $9,1 \text{ кг/м}^2$, $P_{\text{приж}}= 2\text{кПа}$ (1 загрузка в день). Такие режимы позволяют обеспечить максимально возможную пропускную способность сушильной установки.

6. Определен приведенный коэффициент скорости сушки K_1 для пищевых трав, входящий в уравнение Э.И. Гуйго. Также в формулу введен коэффициент γ , учитывающий давления прижима материала, и определены его значения, что позволяет использовать данную формулу для практических расчетов продолжительности процесса сушки.

7. Применение гелиоводонагревателей снижает энергозатраты на 65...70% и позволяет получить экономический эффект 497,210 тыс. сум в год на одну установку (в ценах 2004г.).

Дальнейшие исследования необходимо проводить в направлении универсализации применения разработанной сушильной установки.

Список опубликованных работ

1. Шаймарданов Б.П., Радкевич М.В. Проблемы сушки пищевых трав в Узбекистане // Сельское хозяйство Узбекистана. 2002. №4. – С. 16.
2. Радкевич М.В., Эргашев Б.Р. Результаты исследований по обоснованию режимов сушки пищевых трав. // Қишлоқ ва сув хўжалигининг замонавий муаммолари: Тез. докл. II науч.-практ. конф. для магистрантов и аспирантов 10-11 апреля 2003. – Ташкент, 2003. – С.141-147.
3. Радкевич М.В. Проблемы сушки пищевых трав в Узбекистане. // Углубление интеграции образования, науки и производства в сельском хозяйстве Узбекистана: Докл. международ. науч.-практ. конф. 23-25 апреля 2003. – Ташкент, 2003. – С. 26-28.
4. Шаймарданов Б.П., Радкевич М.В. Некоторые свойства пищевых трав. // Сельское хозяйство Узбекистана. 2003. № 5. – С. 20.
5. Шаймарданов Б.П., Радкевич М.В. Сушилка для пищевых трав. // Проблемы эффективного использования энергии в отраслях агропромышленного комплекса: Сб. статей Респ. науч.- практ. конф. 19-20 декабря 2003. – Ташкент, 2003. – С. 90-94.
6. Радкевич М.В. Вакуум-контактная сушилка для пищевых трав с применением гелиоводонагревателя.//Гелиотехника. 2004. № 2. – С.30-34.
7. Радкевич М.В. Сушка зелени в разреженной среде. // Пищевая промышленность. 2005. № 1. – С.29 – 30.
8. Радкевич М.В., Шаймарданов Б.П. Мобильная гелиосушильная установка. // Сельское хозяйство Узбекистана. 2005. № 2. – С. 34.
9. Радкевич М.В., Шаймарданов Б.П. Установка для сушки зелени.// Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2006. № 7. – С.20-22.

Техника номзоди илмий даражасига
талабгор Радкевич Мария Викторовна

05.20.01 – Қишлоқ хўжалиги ишлаб чиқаришини механизациялаш ихтисослиги бўйича «Ошқўкатни қуритиш қурилмаси техник ва технологик параметрлари асослаш» мавзусидаги диссертациянинг

РЕЗЮМЕСИ

Таянч (энг муҳим) сўзлар: ошқўкатлар, қуритиш, сийрақланган ҳаво муҳити, қуритиш қурилмаси, токчали, зичлаш жиҳози, кўп-понали зичлагич.

Тадқиқот объектлари: кўкатлар (шивит, кашнич, кинза)

Ишнинг мақсади: кўкатни сийрақланган ҳаво муҳитида (ўр вакуумли) қуритиш қурилмасининг илмий-асосланган техник ва технологик параметрларини ишлаб чиқиш.

Тадқиқот усули: Қилинган экспериментал-назарий тадқиқотлар иссиқлик ва масса олмашинуви назарияси ва эгилучанлик назария элементлари фойдаланган. Экспериментал натижалар математик статистика услублари ёрдамида таҳлил қилинган. Қурилманинг оптимизациялаш компьютер учун MATLAB программаси ёрдамида, графиклар чизиқлари ORIGIN6.1 программаси ёрдамида қилинган.

Олинган натижалар ва уларнинг янгилigi: Ўтказилган тадқиқотлар натижасида Ўзбекистонда ўсадиган барча ошқўкатларни физика-механика иссиқлик-физика хусусиятлари текширилган; ошқўкатларни сийрақланган ҳаво муҳитида зичлаш усули билан қуритиш жараёни тадқиқотланган ва қуритиш асосий режим параметрлари олинган. Зичлаш жиҳози сифатида кўп-понали зичлагич ишлаб чиқилган ва унинг асосий параметрлари илмий асосланган.

Э.И. Гуйго тенгламаси иккинчи қисмининг ошқўкатларни сийрақланган ҳаво муҳитида зичлаш усули билан қуритиш жараёни математик тасвир сифатида фойдаланиши имкони исбот қилинган ва кўкатларни қуритиш жараёни давомлигини аниқлаш коэффициентларини аниқланган. Кўкатларни қуритиш қурилмаси ҳисоби методикаси ишлаб чиқилган

Амалий аҳамияти: Ишнинг амалий аҳамияти ошқўкатларни сийрақланган ҳаво муҳитида қуриш жараёни техникавий хулосада; энергия харажатларини камланидиган куёш қизdirгични фойдаланишда; олий сифатли қуритилган кўкатларни олишни ва катта иқтисодий самарадорлигини имкони берадиган технологик режимлар ишлаб чиқишда; олинган натижаларни кўкатларни қайта ишлаш қурилмаларининг режим ва конструктив параметрларини ишлаб чиқиш ва оптимизациялаш учун қўлланилиши имкониятида.

Тадбиқ этиш даражаси ва иқтисодий самарадорлиги: Қуритиш қурилмаси тажриба нусхаси «ILDIZ» корхонасида (Тошкент ш.) тадбиқ этилди. Қурилманинг иқтисодий самарадорлиги йилга 497,21 минг сўм тенг.

Қўлланиш (фойдаланиш) соҳаси: озиқ-овқат саноати

РЕЗЮМЕ

диссертации Радкевич Марии Викторовны на тему
«Обоснование технических и технологических параметров установки для
сушки пищевых трав (зелени)»

на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.20.01 – механизация сельскохозяйственного производства

Ключевые слова: пищевые травы, сушка, разреженная среда, сушильная установка, полочная, прижимное устройство, поликлиновой штамп

Объекты исследования: пищевые травы (укроп, петрушка, кинза и т.д.)

Цель работы: разработка научно-обоснованных технических и технологических параметров установки для сушки пищевых трав (зелени) в разреженной среде (условиях среднего вакуума).

Метод исследования: Проведены экспериментально-теоретические исследования с использованием элементов теории тепло- и массообмена и теории упругости, математического анализа, технической термодинамики. При изучении процесса сушки использовались специально разработанные термодатчики. Обработка экспериментальных данных проводилась методами математической статистики. Оптимизация установки производилась с применением компьютерной программы MATLAB, построение графиков осуществлялось с помощью программы ORIGIN6.1.

Полученные результаты и их новизна: В результате проведенных исследований получены физико-механические и теплофизические характеристики некоторых пищевых трав, произрастающих в условиях Узбекистана; исследован процесс сушки пищевых трав в разреженной среде под прижимом и получены основные режимные параметры установки. Разработана и научно обоснована форма прижимного органа в виде поликлинового штампа. Доказана возможность применения модифицированного уравнения Э.И. Гуйго для математического описания процесса сушки зелени в разреженной среде и определены необходимые коэффициенты для расчета времени процесса сушки пищевых трав. Разработана методика расчета установок для сушки зелени.

Практическая значимость: практическая ценность работы заключается в техническом решении процесса сушки зелени в разреженной среде; в возможности применения гелиоводонагревателя, обеспечивающего сокращение энергозатрат; в разработке технологических режимов, позволяющих получать высококачественную сушеную зелень и высокую экономическую эффективность; в возможности использования полученных результатов при разработке и оптимизации режимно-конструктивных параметров установок по переработке данных продуктов.

Степень внедрения и экономическая эффективность: опытный образец сушильной установки работает на предприятии «LDIZ» (г. Ташкент). Экономическая эффективность установки составляет 497,21 тыс. сум. в год.

Область применения: пищевая промышленность

RESUME

Thesis of Radkevich Maria Viktorovna's on the scientific degree competition
 the candidate of sciences in technique
 speciality 05.20.01 - mechanization of an agricultural production
 subject: "Proving of technical and technological parameters of the food herb
 drying plant"

Key words: food herbs, drying, rarefied air, drying plant, the clamping device, multiply wedged stamp

Subjects of the inquiry: food herbs (fennel, parsley, coriander etc.)

Aim of the inquiry: development of the scientifically grounded drying parameters of the plant for drying food herbs (grocery) in the rarefied environment (conditions of average vacuum).

Methods of inquiry: experimental and theoretical researches with use of elements of the theory of heat and mass exchange and theories of elasticity. The mathematical analysis, technical thermodynamics are carried out. At study of process of drying were used specially developed temperature gauges. Processing of experimental data was carried out by methods of mathematical statistics. Optimization of installation it was made with application of program MATLAB for the computer, construction of diagrams was carried out with the help of program ORIGIN6.1.

The results achieved and their novelty: As a result of the carried out researches are received physicomachanical and heat-physical characteristics of some food grasses growing in conditions of Uzbekistan; process of drying of food grasses in the rarefied environment under a clamp is investigated and the best regime parameters of the unit are received. The form of clamping body, multiply wedged stamp is developed and scientifically proved.

The opportunity of application of the modified equation of E.I. Gужков for the mathematical description of process of drying of greens in the rarefied environment is proved and necessary factors for calculation of time of process of drying of food grasses are determined. The design procedure of installations for drying greens is developed.

The practical value: Practical value of work consists in the technical decision of process of drying of greens in the rarefied environment; in the opportunity of application of the sun-heating element, providing reduction of energy expenses; in development of the technological modes, allowing to receive high-quality dried greens and high economic efficiency; in an opportunity of application of the received results by development and optimization of mode - and -design of installations on processing the given products.

Degree of embed and economic efficiency: the pre-production mode of drying installation works at "ILDIZ " enterprise (Tashkent). Economic efficiency of this installation makes 497,21 thousand sums annually.

Sphere of usage: food industry