



Александр Ткаченко  
Владимир Дидур

# Оборудование и Технология Сушки Семян Подсолнечника Высших Репродукций

 **LAMBERT**  
Academic Publishing

## **Impressum / Выходные данные**

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek: Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Alle in diesem Buch genannten Marken und Produktnamen unterliegen warenzeichen-, marken- oder patentrechtlichem Schutz bzw. sind Warenzeichen oder eingetragene Warenzeichen der jeweiligen Inhaber. Die Wiedergabe von Marken, Produktnamen, Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen u.s.w. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Библиографическая информация, изданная Немецкой Национальной Библиотекой. Немецкая Национальная Библиотека включает данную публикацию в Немецкий Книжный Каталог; с подробными библиографическими данными можно ознакомиться в Интернете по адресу <http://dnb.d-nb.de>.

Любые названия марок и брендов, упомянутые в этой книге, принадлежат торговой марке, бренду или запатентованы и являются брендами соответствующих правообладателей. Использование названий брендов, названий товаров, торговых марок, описаний товаров, общих имён, и т.д. даже без точного упоминания в этой работе не является основанием того, что данные названия можно считать незарегистрированными под каким-либо брендом и не защищены законом о брендах и их можно использовать всем без ограничений.

Coverbild / Изображение на обложке предоставлено: [www.ingimage.com](http://www.ingimage.com)

Verlag / Издатель:

LAP LAMBERT Academic Publishing

ist ein Imprint der / является торговой маркой

Omniscriptum GmbH & Co. KG

Heinrich-Böcking-Str. 6-8, 66121 Saarbrücken, Deutschland / Германия

Email / электронная почта: [info@lap-publishing.com](mailto:info@lap-publishing.com)

Herstellung: siehe letzte Seite /

Напечатано: см. последнюю страницу

ISBN: 978-3-659-55648-7

Zugl./Утверд.: Мелитополь, Таврический государственный агротехнологический университет, 2009 г.

Copyright / АВТОРСКОЕ ПРАВО © 2014 Omniscriptum GmbH & Co. KG

Alle Rechte vorbehalten. / Все права защищены. Saarbrücken 2014

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРИНЯТЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ .....	5
ВВЕДЕНИЕ.....	10
ГЛАВА 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА СУШКИ СЕМЯН ПОДСОЛНЕЧНИКА ВЫСШИХ РЕПРОДУКЦИЙ. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ .....	15
1.1. Обоснование технологической схемы сушки семян подсолнечника высших репродукций .....	15
1.2. Анализ методов сушки.....	17
1.2.1. Радиационный метод .....	20
1.2.2. Сушка семян в поле токов высокой частоты или сверхвысокой частоты.....	20
1.2.3. Сушка в акустическом поле .....	21
1.2.4. Классификация по гидродинамическому режиму и состоянию слоя.....	21
1.2.5. Использование вибропсевдооживленного слоя.....	24
1.2.6. Сушка с использованием вакуума.....	25
1.2.7. Сублимационная сушка .....	25
1.2.8. Сорбционная сушка .....	26
1.2.9. Рециркуляционный способ сушки .....	26
1.2.10. Комбинированные способы сушки .....	26
1.2.11. Сушка с промежуточным подогревом воздуха по зонам .....	27
1.2.12. Сушка с частичной рециркуляцией отработанного воздуха.....	27
1.2.13. Сушка с промежуточным подогревом и рециркуляцией воздуха по зонам.....	28
1.2.14. Сушка семян подсолнечника .....	28
1.3. Анализ теоретических и экспериментальных исследований процесса сушки.....	31
1.4. Цель и задачи исследований.....	39

4.3.3.1. Испытание тиристорного регулятора .....	102
4.3.3.2. Испытания датчиков температуры и системы управления .....	102
4.3.3.3. Испытание тензорной системы взвешивания.....	103
4.4. Статистическая обработка экспериментальных данных .....	103
<b>ГЛАВА 5 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА СУШКИ</b>	
<b>СЕМЯН ПОДСОЛНЕЧНИКА ВЫСШИХ РЕПРОДУКЦИЙ.....</b>	<b>108</b>
5.1. Проверка адекватности математической модели.....	108
5.2. Изучение аэродинамического поля контейнерной сушилки .....	112
5.3. Обоснование рациональных режимов процесса сушки .....	114
5.4. Обоснование и разработка конструктивно-технологической схемы контейнерной сушилки.....	123
5.4.1. Расчет потерь давления в коллекторе контейнерной сушилки.....	123
5.4.2. Удельное гидравлическое сопротивление слоя семян.....	126
5.4.3. Механизм автоматического подключения контейнера к коллектору контейнерной сушилки.....	128
Выводы по разделу.....	130
<b>ГЛАВА 6 ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПРОВЕРКА ЭФФЕКТИВНОСТИ</b>	
<b>ТЕХНОЛОГИИ СУШКИ СЕМЯН ПОДСОЛНЕЧНИКА.....</b>	<b>132</b>
6.1. Результаты внедрения контейнерной технологии и оборудования.....	132
6.2. Производственные испытания контейнерной и шахтной сушилок .....	133
6.3. Экономическая эффективность от внедрения контейнерной сушилки	135
Выводы по разделу.....	139
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ.....	141
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	144

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** Подсолнечник - одна из основных масличных культур, возделываемых в Украине. Увеличение производства семян подсолнечника зависит от общей системы мероприятий, направленных на получение высоких и устойчивых урожаев. Среди них важное место занимает послеуборочная обработка и хранение семян высших репродукций.

Послеуборочную обработку родительских форм, гибридов первого поколения и высших репродукций семян масличных и зерновых культур, которые выращивают малыми партиями, проводят на оборудовании непрерывного действия, предназначенном для обработки товарных семян. Оригинаторам сорта приходится перерабатывать в сезон свыше трёхсот партий семян различных категорий. Важными требованиями технологии послеуборочной обработки являются исключение механического засорения родительских форм семян подсолнечника семенами других растений, исключение смешивания семян различных партий и обеспечение норм посевных качеств семян высших репродукций. Последнее значительно зависит от режимов сушки и конструкции сушилки, обеспечивающей их выполнение.

Использование обычных мешков в качестве тары не позволяет в высокой степени механизировать все процессы послеуборочной обработки семян.

Для сушки семян масличных культур используются шахтные, барабанные сушилки непрерывного действия. При сушке партий семян в 1 - 3 и даже 10 т происходит механическое засорение родительских форм семенами других культур и различных партий семян. Для послеуборочной обработки малых партий родительских форм, гибридов первого поколения и высших репродукций семян нужна, специфическая технология со специальным оборудованием, обеспечивающая жизнеспособность поступающих на хранение семян. Для сушки малых партий необходима контейнерная сушилка. Поэтому исследования, направленные на усовершенствование технологии и разработку оборудования сушки семян высших репродукций, являются актуальной задачей в повышении эффективности производства подсолнечника.

Представляемая работа написана на основе одноимённой диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук А. В. Ткаченко, научный руководитель доктор технических наук, профессор В.А. Дидур.

**Цель исследования** - повышение эффективности производства семян подсолнечника высших репродукций путём обоснования технологических режимов сушки и разработки оборудования для их обеспечения.

Для достижения поставленной цели нами была принята **научная гипотеза**, согласно которой посевные качества семян подсолнечника высших репродукций во время сушки можно повысить путём управления скоростью фильтрации агента сушки в зависимости от их начальной влажности при обоснованной температуре теплоносителя и толщине слоя, а обеспечение сортовой чистоты гарантируется использованием специальных сушильных контейнеров.

**Задачи исследования.** Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Обосновать технологию сушки семян подсолнечника высших репродукций, обеспечивающей нормативные требования к посевным качествам.

2. Усовершенствовать методику исследований процесса сушки семян подсолнечника, создать приборное обеспечение, исследовать кинетику сушки в контейнерной сушилке и динамику температурного поля в неподвижном слое семян.

3. Установить эмпирические зависимости физико-механических, морфологических, теплофизических и термодинамических свойств семян подсолнечника и их отдельных элементов.

4. Разработать математическую модель, адекватно описывающую процесс сушки семян подсолнечника высших репродукций, учитывающую физико-механические, морфологические, теплофизические и термодинамические свойства составных частей семянки подсолнечника.

5. С помощью математической модели провести численные исследования процесса сушки и обосновать технологические режимы и конструктивные параметры сушилки.

# ГЛАВА 1

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА СУШКИ СЕМЯН ПОДСОЛНЕЧНИКА ВЫСШИХ РЕПРОДУКЦИЙ. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 1.1. Обоснование технологической схемы сушки семян подсолнечника высших репродукций

Существующие технологии послеуборочной обработки семян подсолнечника [1-3] включают первичную очистку, сушку, вторичную очистку, протравливание, затаривание [4] и хранение семян. В производство внедряются типовые семяобработывающие предприятия.

Существующие технологии и оборудование не могут использоваться для послеуборочной обработки семян высших репродукций по следующим причинам:

1. Существующие технология и оборудование приспособлены для непрерывной обработки крупных партий и не позволяют обрабатывать малые партии семян высших репродукций, допускают засорение семян подсолнечника семенами других видов растений, смешивание различных видов и сортов семян.

2. В комплексах оборудования в качестве транспортирующих органов используются нории и шнеки, которые допускают большой процент дробления, микроповреждения семян, особенно подсолнечника. Это ухудшает защитные свойства семян при хранении и высеве в поле. Такие транспортирующие устройства не позволяют устранить засорение семян подсолнечника семенами других видов растений, смешивание различных видов и сортов семян.

3. Для сушки семян масличных культур используются сушилки непрерывного действия: шахтные, барабанные. При сушке партий семян в 1-3 т и даже 10 т происходит смешивание партий и не обеспечивается сортовая чистота обрабатываемых семян. Местный перегрев семян у поверхности сушилки снижает посевные качества. Для сушки семян с повышенной влажностью необходимо пропускать семена через сушилку два-три раза.

## ГЛАВА 2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЕМЯН ПОДСОЛНЕЧНИКА

В технологическом процессе сушки семян подсолнечника важную роль играют явления тепло - и влагообмена: внешнего - между объектами сушки и теплоносителем, внутреннего - в каждой семянке и её слое. Сушка должна не только обеспечить сохранение посевных свойств семян, но и улучшить их. «Поэтому выбор методов и рациональных режимов процесса должен базироваться на научных основах технологии сушки семян: от изучения свойств продукта как объекта сушки - к выбору метода и обоснованию режимов процесса и на этой основе - к созданию рациональных конструкций сушильных установок» [10].

### 2.1. Линейные размеры и массовые характеристики семян подсолнечника

#### 2.1.1. Анатомическое строение семянки

Плодовая оболочка семян подсолнечника состоит из твёрдой волокнистой ткани, образованной из одревеневших толстостенных клеток (рис. 2.1) [106].

Семенная оболочка представляет собой тонкую плёнку, состоящую из внешней (бахромчатой) ткани и внутренней (эпидермиса). Низкая теплопроводность плодовой оболочки, паренхимы, выстилающей внутреннюю её полость, воздушной прослойки между плодовой и семенной оболочкой, и, наконец, семенной оболочки, является своеобразной термоизоляцией, защищающей ядро.

#### 2.1.2. Линейные размеры семян подсолнечника

Нами проведены исследования геометрических параметров семянки, необходимых при технологических расчётах процессов тепло - и массопереноса.

Объектом исследования служили следующие высокомасличные гибриды, полученные в Институте масличных культур УААН: Запорожский-8, Запорожский-28, Запорожский-10, Запорожский-12, Запорожский-14, Запорожский-16,



### ГЛАВА 3

## 1У10ДКЛИИОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ СЕМЯН 110;ц 11Л11ЁЧНИКА В КОНТЕЙНЕРНОЙ СУШИЛКЕ

### 3.1» Постановка задачи.

Дан толстый, плотный, неподвижный слой семян подсолнечника, расположенный на перфорированной поверхности сушильного контейнера и продуваемый снизу агентом сушки, предварительно нагретым в электрокалорифере.

Процесс сушки в толстом неподвижном слое происходит послойно. Сушильный агент, пронизывая нижние слои семян, отдаёт тепло оболочке и ядру этих семян и насыщается испаряемой влагой. При охлаждении теплоносителя в верхних слоях ниже температуры мокрого термометра происходит конденсация влаги и увлажнение семян этих слоёв. В последующем начинается сушка семян более удалённых от места входа теплоносителя слоёв. Такое перемещение зоны сушки в направлении потока воздуха продолжается до тех пор, пока в последнюю очередь не высохнут семена в самой верхней части контейнера.

Для теоретических исследований толстый неподвижный слой условно разбиваем на тонкие элементарные слои. Процесс сушки в тонком элементарном слое можно разбить на три периода: нагрев материала до температуры мокрого термометра; сушка влажного материала до гигроскопической влажности, когда температура материала постоянна и равна температуре мокрого термометра; сушка материала в гигроскопической области влажности, когда температура материала повышается, достигая температуры агента сушки. В период сушки влажного материала скорость сушки постоянна. В период сушки в гигроскопической области влажности материала скорость сушки падает, приближаясь к нулю. Влажность материала в заключительном периоде сушки достигает равновесной влажности с агентом сушки и зависит от параметров последнего.

## ГЛАВА 5

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА СУШКИ СЕМЯН ПОДСОЛНЕЧНИКА ВЫСШИХ РЕПРОДУКЦИЙ

#### 5.1. Проверка адекватности математической модели

Исследования процесса сушки проводились на семенах гибрида подсолнечника Запорожский 9 массой 1000 зёрен 59,6 г, маслячностью 50,9 % с исходной влажностью семян относительно сухого вещества 17,51 %. Температура окружающего воздуха колебалась от 18 до 27° С, относительная влажность составляла 78 %, барометрическое давление 770 мм рт. ст.

Начальная температура семян 20° С, температура агента сушки на входе в контейнер изменялась в пределах 45-50° С, средняя скорость агента сушки в контейнере без учёта семян составляла 0,3 м/с.

Результаты проведенного опыта позволили построить экспериментальную кривую сушки и сравнить с ней теоретическую кривую сушки, полученную численным исследованием описанной математической модели (рис. 5.1). Относительная ошибка численных исследований при описании кривой сушки составила до 16,8%. На рис. 5.2 построены экспериментальные и теоретические температурные кривые ядра в четвёртом элементарном слое. Относительная ошибка численных исследований температурных кривых -15 %.

При экспериментальном исследовании температурного поля в сушильном контейнере проводились две серии опытов. Цель первой серии опытов - исследование неравномерности температурного поля по горизонтальному сечению сушильного контейнера. Для этой серии опытов датчики температуры устанавливались в двух слоях: на высоте 320 мм и 640 мм от уровня решета контейнера. В каждом слое по 5 датчиков: четыре в углах четырёхугольника со стороной 800 мм, и один в центре, на пересечении диагоналей. Высота слоя семян подсолнечника в контейнере равна 960 мм. Размеры горизонтального сечения контейнера - 1300x1300 мм.

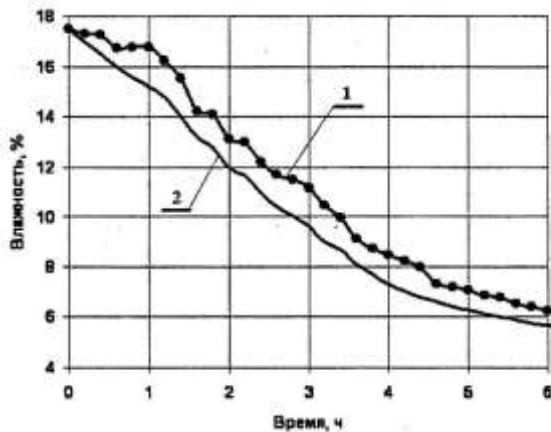


Рисунок 5.1 - Кинетика сушки семян подсолнечника в толстом слое:

1 - экспериментальная зависимость; 2 - расчётная зависимость

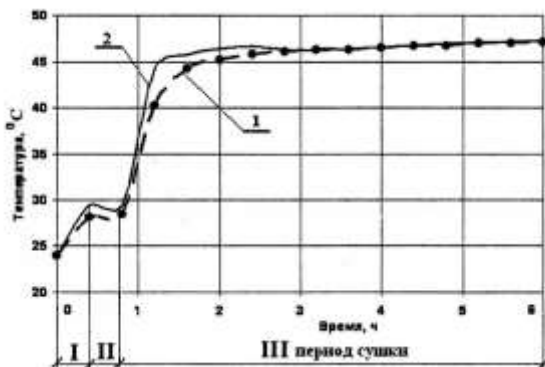


Рисунок 5.2 - Динамика температуры ядра в элементарном слое:

1 - экспериментальная зависимость; 2 - расчётная зависимость

Результаты исследований температурного поля в сушильном контейнере по горизонтальным сечениям контейнера представлены на рис. 5.3. Верхняя кривая показывает изменение температуры теплоносителя на входе в сушильный