

П.И. КАЛАНДАРОВ, З.М. МУКИМОВ



**КОНТРОЛЬ  
ВЛАЖНОСТИ  
ЗЕРНА ПРИ  
ГИДРОТЕРМИЧЕСКОЙ  
ОБРАБОТКЕ  
НА ЗЕРНОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ  
ПРЕДПРИЯТИЯХ**

Ташкент - 2022

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**НАЦИОНАЛЬНО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТ  
ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ИРРИГАЦИИ  
И МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

**П.И. КАЛАНДАРОВ, З.М. МУКИМОВ**

**КОНТРОЛЬ ВЛАЖНОСТИ ЗЕРНА  
ПРИ ГИДРОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ НА  
ЗЕРНОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

*/ монография/*

Ташкент – 2022 г.

**Монография рассмотрена и рекомендована  
Учёным Советом Национального исследовательского университета  
«Ташкентского института инженеров ирригации и механизации сельского  
хозяйства»**

Протокол № 05 от 27 января 2021 года

УДК 681.586.664:729

В монографии рассматриваются научные основы гидротермической обработки зерна и изменение его исходных технологических свойств направленные на стабилизации и поддержании их на оптимальном уровне для дальнейшего процесса переработки его в конечную продукцию - муку или крупу, а также выбор метода контроля влажности необходимое в процессе подготовки зерна к размолу в муку и придать ему свойства, которое в наибольшей степени способствуют получению нужных результатов.

Монография охватывает широкий круг вопросов, включая физические основы измерения влажности зерна, характеристика и конструкция датчиков и измерительных устройств влагомеров, а также обеспечение этих приборов в составе автоматизированные системы управления технологическими процессами и производством.

Рассчитан на докторантов, студентов бакалавриатуры и магистратуры, специалистов и научных работников, занимающихся разработкой автоматического контроля и регулирования влажности зернистых материалов при эксплуатации технологических агрегатах и установках и их автоматизаций.

Илл. 13, библиогр. 80 назв.

**Ответственный редактор:**

к.т.н. проф. Р.Т. Газиева

**Рецензенты:**

д.т.н. проф. Н.Ш. Муминов

Зав.каф. МСС ТашГАУ

В.Д. Смирнов – директор по

производству АО «Галла-Алтег»

---

П.И. Каландаров, З.М. Мукимов  
Контроль влажности зерна при гидротермической  
обработке на зерноперерабатывающих предприятиях  
Монография. Ташкент-2022. 102 стр.

---

©. ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ИРРИГАЦИИ  
И МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА (ТИИИМСХ), 2022 г.

Ташкент – 2022 г.

## ВВЕДЕНИЕ

Гидротермическая обработка (ГТО) на зерноперерабатывающих предприятиях служит основой подготовки зерна и направлена на изменение его технологических свойств для создания оптимальных условий его переработки в готовый продукт. При такой обработке изменяются также биохимические свойства зерна.

На мини-мельнице ГТО направлена на повышение эластичности оболочек и на ослабление связи между оболочками и эндоспермом. В результате такого технологического приема облегчается отделение оболочек от зерна при незначительных потерях эндосперма, что способствует увеличению выхода муки высоких сортов. Например, при правильно выбранных режимах ГТО пшеницы снижается зольность муки высоких сортов, выход муки увеличивается на 1-2% и больше.

На мукомольных Республики Узбекистан применяют в основном один метод ГТО - холодное кондиционирование. В этом случае зерно увлажняется водой и выдерживается (отволаживается) в бункерах в течение определенного времени для изменения его структурно-механических и биохимических свойств. При высокой стекловидности пшеницы рекомендовано двукратное увлажнение и отволаживание.

Режимы кондиционирования устанавливают в зависимости от типа пшеницы, стекловидности (одного из главных показателей выбора ГТО), влажности исходного зерна и др. Например, при подготовке к сортовому помолу продолжительность основного отволаживания зерна пшеницы рекомендуется от 4 до 23 ч, верхние значения для зерна стекловидностью свыше 60%, нижние - стекловидностью до 40%.

Увлажнение и отволаживание пшеницы с исходной влажностью менее 12,0% рекомендуется осуществлять последовательно в два этапа, при этом соотношение величины приращения влаги и продолжительности отволаживания на первом и втором этапах ориентировочно должно составлять 3:1.

Перед I драной системой рекомендуется проводить увлажнение пшеницы на 0,3- 0,5 % с отволаживанием 0,3-0,5 час.

При обойных помолах пшеницы и ржи применяют только холодный способ кондиционирования зерна. Гидротермическая обработка позволяет направленно изменять исходные свойства зерна (физико-химические, структурно-механические, биохимические и др.). Благодаря воздействию влаги, температуры, а также отволаживанию снижается, например, стекловидность зерна пшеницы, повышается степень разрыхления эндосперма, под влиянием развивающихся биохимических процессов происходит перераспределение химических веществ по анатомическим частям зерна.

Общее для рассмотренных способов ГТО зерна пшеницы и ржи при сортовых помолах - обязательное увлажнение зерна и короткое его отволаживание (в течение 20-40 мин) перед подачей на размол. Это позволяет увлажнить только поверхностные слои зерна и облегчить отделение оболочек от эндосперма.

На эффективность гидротермической обработки влияют следующие основные факторы: величина увлажнения, температура, время отволаживания, условия и уровень применения которых составляет режим ГТО. Фактор увлажнения активизирует все сложные физико-биологические изменения в зерне, в результате которых улучшаются его технологические свойства. Температурный фактор способствует ускорению протекания процессов, изменению качества клейковины. Время отволаживания связано со скоростью перемещения влаги в зерне и протекания в нем различных процессов. Эффективность в значительной мере зависит от технологических свойств зерна, так как его индивидуальные особенности оказывают важное влияние на выбор оптимальных режимов гидротермической обработки.

Влажность зерна является одним из важных контролируемых параметров и является одним из основных факторов, определяющих возможность длительного хранения без порчи и потерь этих материалов. Всхожесть семенных материалов в большой мере зависит от их влажности в процессе хранения. При переработке

зерна от его влажности зависят сопротивление измельчению и, следовательно, удельный расход энергии и производительность мельничного оборудования, а также величина влажности зерна учитывается при сдаче и приемке, так как от нее зависит их чистый вес, т. е. действительная стоимость.

Сегодня, научно-обоснованные решения еще раз подтверждают о том, что техническим базисом повышения эффективности технологии хранения и переработки зерна, организации автоматического контроля, управления, является автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУ ТП). Первичные измерительные преобразователи (ПИП) влажности являются основным элементом АСУ ТП, который обеспечивают информационную связь с конкретными характеристиками исследуемого объекта, и в большой степени определяет качества и надежность работы измерительного тракта. Как правило, эти приборы имеют состав ПИП и измерительное устройство. АСУТП предоставляет возможность выполнять дистанционные измерения и контролировать показатели с пульта управления. Влажность – один из основных технологических параметров промышленных систем контроля и управления, подлежащих непрерывному или дискретному измерению либо контролю в составе современных АСУТП контактными или бесконтактными методами.

В связи с этим, вопрос внедрения приборного обеспечения в составе комплексной автоматизации зернохранилищ, элеваторов, силосов и других объектов по переработке и хранению зерна и задачи по внедрению АСУ ТП объектах по хранению и переработке зерна являются актуальными и малоизученными. Построение на основе полученных экспериментальных данных электрической модели первичного измерительного преобразователя, с оптимальной аппроксимацией реальных характеристик исследуемых материалов позволяет реализации полученных данных путем разработки высокочастотных приборов контроля влажности зерна при их гидротермической обработке и их испытании в лабораторных и производственных условиях на ОАО «Г'АЛЛА-АЛТЕГ».

## І РАЗДЕЛ

### 1.1. МЕТОДЫ ГИДРОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЗЕРНА

Гидротермическая обработка зерна независимо от режимных параметров процесса, последовательности операций, аппаратного оформления выполняет одну стратегическую задачу - оптимизирует технологические свойства зерна. При этом в различных технологиях она может иметь различную, в некоторых случаях противоположную направленность. Так, в технологии муки влаготепловая обработка предразрушает структуру зерна, а в технологии крупы, наоборот, укрепляет. Единой классификации методов гидротермической обработки нет. Возможно деление методов по их принадлежности к основной технологии. Например, методы, используемые в технологии муки, крупы и комбикормов. Разделяют методы гидротермической обработки по принадлежности к зерновой культуре. Например, кондиционирование пшеницы, ржи, гидротермическая обработка гречихи, овса л т. п. Есть специфические методы гидротермической обработки, такие как вакуумное кондиционирование пшеницы, микронизация или нагрев инфракрасными лучами, тестирование соевого шрота в технологии комбикормов, поджаривание и т. п. Главное отличие всех применяемых методов гидротермической обработки состоит в интенсивности теплового воздействия на обрабатываемое зерно. По этому признаку методы гидротермической обработки можно классифицировать следующим образом:

- Мягкие методы, исключаящие тепловое воздействие или обрабатывающие зерно теплой водой с температурой не выше 30 °С. К этим методам относят метод холодной гидротермической обработки (холодного кондиционирования) при подготовке зерна к помолу в технологии муки или при подготовке крупяных культур к переработке;
- Методы гидротермической обработки со средней интенсивностью. К ним относятся метод горячего кондиционирования при подготовке пшеницы к



помолу, а также обработка крупяных культур горячей водой при температурах 45-50 °С;

- Интенсивные методы гидротермической обработки, предусматривающие пропаривание влажным насыщенным паром с последующим тепловым воздействием;
- Жесткие методы гидротермической обработки, предусматривающие пропаривание паром с избыточным давлением с последующей сушкой при высоких (свыше 100 °С) температурах. К ним также относят методы, предусматривающие контактный нагрев зерна, сочетание контактного и конвективного методов с высокими температурными параметрами.

Каждый из вышперечисленных методов отличается параметрами воздействия и аппаратным оформлением технологии или последовательностью операций.

К параметрам воздействия или режимным параметрам процесса гидротермической обработки относят:

1. Степень увлажнения.
2. Время отволаживания.
3. Кратность обработки одинаковыми средствами, например, увлажнением и отволаживанием.
4. Температурный режим воздействия.

Это наиболее общие показатели режимных параметров. Степень увлажнения АЖ, % количественно определяется как разность между оптимальным значением влажности зерна для технологии  $W_{opt}$ , % и начальным значением влажности  $W_k$ , %:

$$W = W_{opt} - W_h$$

Степень увлажнения зерна зависит от вида перерабатываемой культуры, типа технологии, качества зерна (типовой состав, стекловидность, начальная влажность и т. п.). Величина степени увлажнения колеблется в реальных условиях в пределах 3-7 %.



**Время отволаживания** - необходимое время для преобразования свойств увлажненного зерна. Этот параметр зависит также от вида перерабатываемого зерна, его качества, типа технологии, а также от принятого способа гидротермической обработки.

Кратность воздействия одноименными средствами зависит от реакции зерна на влаготепловую обработку и начальной влажности зерна. Например, при низкой начальной влажности зерна не удастся достичь оптимальной технологической влажности за однократное увлажнение. Или однократное воздействие не дает оптимальных преобразований свойств зерна.

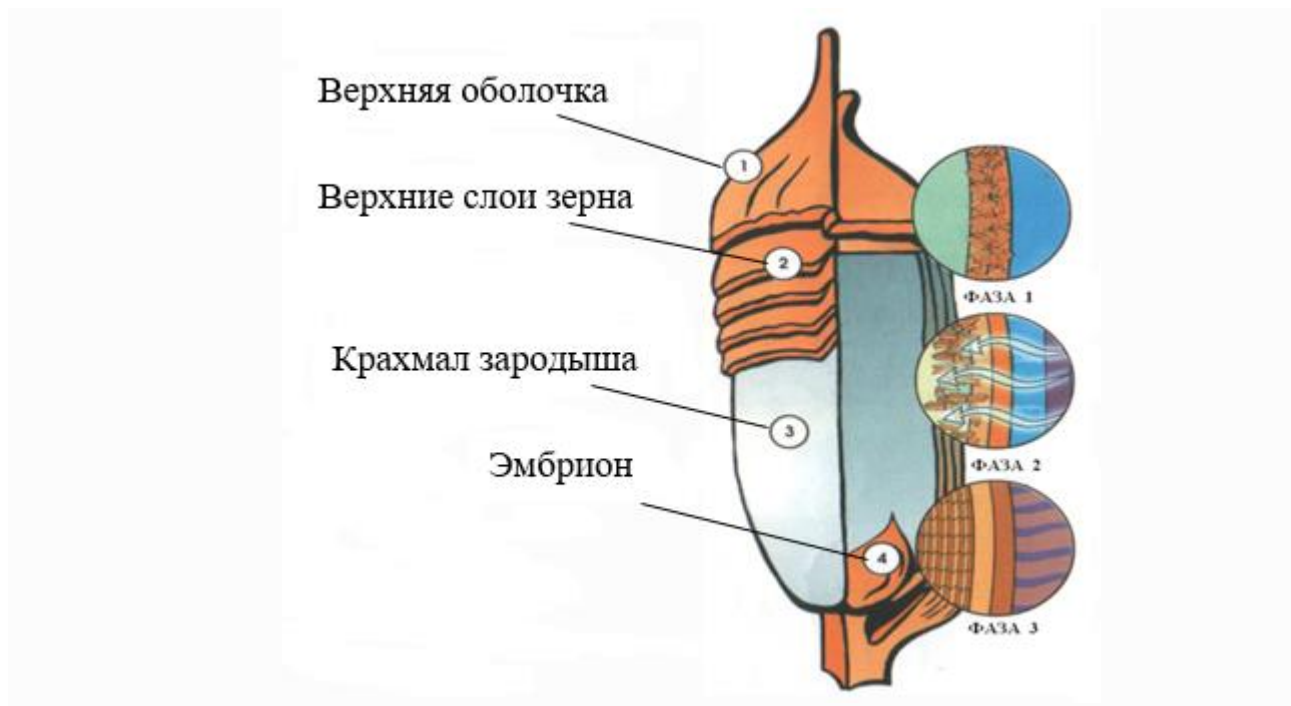
Температурный режим процесса в основном определяется целевой задачей технологии и качеством зерна. В некоторых случаях коррективы вносит наличие средств для проведения гидротермической обработки. Так, в технологии крупы для укрепления ядра требуются жесткие режимы воздействия. При получении крупы с минимальным сроком кулинарной обработки или продуктов глубокой переработки крупы - хлопьев и крупы плющеной требуется интенсивная тепловая обработка пропариванием, варка по специальной технологии, плющение и сушка. При переработке дефектного зерна пшеницы или пшеницы со слабой клейковиной рекомендуется пропаривание и т. п. Гидротермическая обработка с пропариванием также рекомендуется при ограниченной вместимости емкостей для отволаживания.

## **1.2. ГИДРОТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЗЕРНА РИСА**

Отличительной особенностью представляемой технологии при переработке риса является использование модуля (водно-тепловой) гидротермической обработки (ГТО) риса-сырца после зерноочистительного отделения крупозавода перед его шелушением.

Модуль ГТО выполняет следующие технологические операции: увлажнение риса, отлежку в бункерах, предварительный наружный подогрев, пропаривание водяным насыщенным паром и высушивание.

Каждая технологическая операция вносит свою определенную долю в достижение конечного результата – производство «рисовой крупы, обработанной паром» [1].



**Фаза 1.** Увлажнение и отволаживание способствует извлечению водой и накоплению между цветочной оболочкой и ядром водного раствора, обогащенного витаминами, ароматическими веществами, макро- и микроэлементами.

**Фаза 2.** Пропаривание позволяет активизировать процессы извлечения полезных веществ из цветочных оболочек и поверхностных слоев ядра, начатые в первой фазе, за счет частичной конденсации пара на поверхности зерна, а также перенести растворенные полезные вещества вглубь ядра за счет действия избыточного давления пропаривания.

При проникновении влаги-конденсата вглубь ядра и воздействии температуры пара и конденсата происходит клейстеризация крахмала и денатурация белков, что, в свою очередь, приводит к склеиванию внутренней трещиноватости в ядрах риса. Этому также способствует то, что в трещины более активно проникает горячий конденсат от пара.

**Фаза 3.** Процесс высушивания зерна после пропарки кроме доведения его до необходимой влажности позволяет продлить время гидротермической обработки и завершить процессы «утрамбовки крахмала» (клейстеризация), что способствует получению более прочного зерна.

Таким образом, крупа, полученная из зерна, обработанного паром, позволяет сохранить витамины и минеральные вещества, присутствующие в верхнем слое зерна, которые по обычным технологиям теряются в результате очистки и шлифовки.

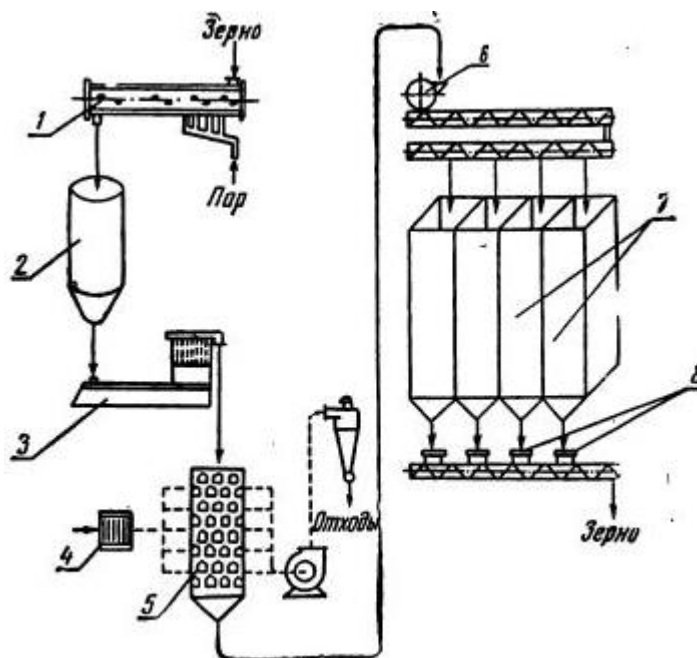
**Очень важно знать, что рис, обработанный паром:**

- *выглядит желтым, а после приготовления становится ослепительно белым и рассыпчатым.*
- *крупинки риса, обработанного паром, не слипаются во время приготовления, рис становится более воздушным и рассыпчатым, чем обычное полированное зерно «белого» риса.*
- *такой рис сохраняет более 80% витаминов и минеральных веществ, которые обычно теряются в результате обычных методов очистки риса – при удалении внешней оболочки и полировки.*

### **1.3.«ХОЛОДНЫЕ» СПОСОБЫ ГИДРОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЗЕРНА**

К ним относят все методы, исключаящие какой-либо тепловой нагрев зерна или обрабатывающие зерно теплой водой с невысокой температурой. Обработка теплой водой эффективна при соответствующих погодных условиях, например, в холодное время года. Холодные способы гидротермической обработки применяют при подготовке мягкой пшеницы и ржи к хлебопекарным сортам и обойным помолам, при подготовке твердой и высокостекловидной мягкой пшеницы к макаронным помолам, а также при подготовке к переработке пшеницы в крупу. Сюда можно отнести также холодный способ гидротермической обработки кукурузы при подготовке к переработке в крупу

шлифованную пятиномерную и кукурузы в крупу для хлопьев и палочек, когда температура воды не превышает 35-40 °С. На рисунке 1.1 представлена технология гидротермической обработки холодным способом, используемая в мукомольной промышленности.



*Рис.1.1. Схема обработки зерна при скоростном кондиционировании.*

*1-аппарат скоростного кондиционирования; 2-бункер; 3-моющая машина; 4-калорифер; 5-влагосниматель; 6-водоструйная машина; 7-бункер для отволаживания; 8-дозаторы;*

Основано на гидротермической обработке пшеницы паром, который увлажняет и нагревает зерно. Увлажнение происходит в результате конденсации пара на более холодной поверхности зерна. Тепло, выделяемое паром, позволяет нагреть зерно до 50-60°С в течение 30-50 с. Такой способ гидротермической обработки позволяет интенсифицировать процесс переноса влаги внутрь зерна и максимально сокращает время отволаживания [2].

После обработки паром в аппарате ДСК для тепловой обработки зерно направляется в теплоизолированный бункер, где выдерживается до 10 мин. В результате тепловой обработки улучшаются свойства клейковины. После тепловой обработки зерно пшеницы температурой 45-60°С направляется в

моечную машину, где охлаждается водой до 25-30°C. Резкое охлаждение зерна нарушает связь оболочек с эндоспермом, что облегчает процесс вымола и снижает расход электроэнергии на измельчение.

Если необходимо удалить часть полученной влаги, зерно направляют во влагосниматель, где оно продувается нагретым до 40-50°C воздухом. Процесс скоростного кондиционирования зерна пшеницы завершается отволаживанием в течение 3-4 ч.

В связи с тем, что в процессе отволаживания зерна его оболочки несколько подсыхают и становятся хрупкими, на мукомольных заводах сортового помола пшеницы применяют дополнительный этап кондиционирования - увлажнение зерна на 0,3-0,5% перед I драной системой с отволаживанием в течение 20-30 мин.

Зерно увлажняют на увлажнительных машинах ЗУМ-2 и Т1-БУВ-10 распыливающего действия [3].

Добавленное к зерну небольшое количество влаги за короткое время отволаживания успеет проникнуть только в оболочки зерна, увлажнить их и сделать их эластичными, более стойкими для разрушения в процессе измельчения зерна на вальцовых станках.

Сущность метода состоит в том, что зерно увлажняется водой комнатной температуры не, заданную величину и отволаживается определенное время в соответствии с задачей технологии.

По технологической схеме увлажнение может осуществляться при мойке зерна, при мокром шелушении или в аппарате для увлажнения любого принципа действия. При сортовых помолах пшеницы обязательной операцией является или мойка зерна, или мокрое шелушение, так что первое увлажнение осуществляется в этом оборудовании. При помолах ржи мойку зерна исключают, чтобы избежать нежелательного переувлажнения.

При сортовых помолах высокостекловидной мягкой пшеницы в хлебопекарную и макаронную муку, а также при помолах твердой пшеницы в макаронную муку и при низкой влажности зерна технология должна включать

три этапа увлажнения и отволаживания (два основных и один - перед первой измельчающей системой). При помолах низкостекловидного зерна пшеницы и влажности, увеличение которой до технологической возможно за один этап, второе основное увлажнение и отволаживание исключают из технологической схемы. Для этого в технологии предусматривают так называемые перекидные клапаны для изменения направления транспортируемого зерна. Независимо от качества зерна при всех сортовых помолах пшеницы и ржи в технологии гидротермической обработки всегда присутствует до увлажнения зерна и кратковременное отволаживание с целью пластификации оболочек перед измельчением (по технологической схеме 3-е увлажнение и отволаживание). Необходимость этой операции объясняется тем, что при отволаживают после основных этапов, увлажнения влага перемещается в глубину зерна, оболочки обезвоживаются и теряют пластичность. Одновременно потере влаги в окружающую среду способствует интенсивная аспирация зерна, перемещение по транспортным коммуникациям и обработка в технологическом оборудовании.

Таким образом, дополнительное увлажнение и отволаживание - необходимая операция, если технология предусматривает в максимальной степени разделение оболочек и эндосперма. Если такой необходимости нет, то эту операцию исключают. Так, операция до увлажнения и отволаживания отсутствует при обойных помолах пшеницы и ржи, в которых большая часть оболочек измельчается в муку. Режимные параметры до увлажнения и отволаживания приблизительно одинаковы для всех помолов. Степень увлажнения  $AЖ = 0,3-0,5 \%$  и отволаживание  $T = 0,3-0,5$  часа. Такого количества влаги достаточно для пластификации оболочек, а кратковременность процесса не позволяет влаге переместиться вглубь зерна и таким образом выполнить функцию пластификатора оболочек [4].

При сортовых помолах ржи и обойных помолах пшеницы оптимальное значение влажности перед измельчением принимают в пределах 14,0-15,0 %. При обойных помолах ржи оптимальную влажность выбирают в интервале

14,0-14,5 %. Очевидно, что при сортовых помолах пшеницы чем больше стекловидность зерна, тем на большую величину необходимо увлажнять зерно. Большая степень увлажнения также предусматривается для пшеницы II-го и IV-го типов, а меньшая - для III-го типа.

Время отволаживания также изменяется в зависимости от вида, типового состава, стекловидности зерна и от типа технологии. Большее время отволаживания предусматривается для сортовых помолов пшеницы, так как в этих технологиях требуется более радикальное изменение структуры зерна. Увеличение стекловидности зерна в пределах типа также требует увеличения времени отволаживания. Прослеживается также влияние типового состава на время отволаживания. Большее время отволаживания в пределах одной группы стекловидности предусматривается для пшеницы IV-го типа, меньшее - для пшеницы III-го. Сокращают время отволаживания при сортовых помолах ржи и обойных помолах пшеницы и ржи.

Особые рекомендации необходимо выполнять при выборе времени отволаживания при переработке твердой и высокостекловидной мягкой пшеницы в макаронную муку. В технологическом плане увеличение времени отволаживания приводит к более интенсивному разрыхлению эндосперма на более мелкие структуры. Поэтому при измельчении такого зерна получают относительно больше мелких частиц с размерами менее 0,4 мм (мелких крупок, дунстов, муки). Последнее нежелательно для макаронных технологий в связи с особенностью помола. Считается, что высокого выхода макаронной муки (крупки и полукрупки) можно достигнуть при получении более 50 % крупных крупок с размерами 1,15-0,56 мм в начальном драном (крупнообразующем процессе). Поэтому время отволаживания сокращают таким образом, чтобы избежать излишнего предразрушения зерна в процессе гидротермической обработки [5].

В таблице 1.1 приведено рекомендуемое время отволаживания для зерна пшеницы при сортовых помолах.



**Время отволаживания зерна пшеницы при сортовых помолах в часах**

Тип зерна	Стекловидность, %		
	менее 40	40-60	более 60
I	4-8	6-12	10-16
II	-	-	см. текст
III	4-6	6-10	8-12
IV	6-10	10-16	16-24

Для макаронных помолов твердой и высокостекловидной мягкой пшеницы существуют следующие рекомендации.

При переработке твердой пшеницы:

- Если степень увлажнения зерна более 3 %, то основное увлажнение и отволаживание проводят в два этапа. На первом этапе время отволаживания составляет 8-12 ч, на втором - 2-4 ч;
- При степени увлажнения менее 3 % основное увлажнение и отволаживание проводят в один этап. При этом время отволаживания составляет 4-8 ч.

При переработке высокостекловидной мягкой пшеницы:

- Если степень увлажнения более 3 %, то основное увлажнение и отволаживание проводят в два этапа. Время отволаживания после первого этапа увлажнения составляет 6-8 ч, а после второго - 1-2 ч;
- При степени увлажнения менее 3 % основное увлажнение и отволаживание проводят в один этап.

При этом время отволаживания принимают 3-5 ч. При сортовых помолах ржи основное увлажнение и отволаживание проводят в один этап и до увлажняют перед измельчением. Рекомендуется при влажности ржи до 13,5 % принимать продолжительность отволаживания основного этапа 3<sup>ч</sup> и до увлажнять зерно перед измельчением на 0,3-0,5 % при отволаживании 0,25-0,3 ч. При исходной влажности зерна более 13,5 % основного увлажнения не проводят, а рожь до

увлажняют на 0,4- 0,7 %, доводя до технологической влажности, с отволаживанием 0,25-0,3 ч.

При обойных помолах пшеницы с влажностью менее 14,0 % и ржи - менее 13,5 % зерно до увлажняют на 0,5-1 %, доводя до технологической влажности, с отволаживанием для пшеницы 2-3 ч и для ржи - 1-2 ч.

**Кратность процесса увлажнения** - отволаживание определяется типом технологии, видом, типом, а также качеством зерна по влажности и стекловидности. При низкой исходной влажности зерна пшеницы и высокой стекловидности не удается за однократное увлажнение и отволаживание достичь технологической влажности и преобразовать свойства зерна. Поэтому операцию проводят в два основных этапа и до увлажняют с кратковременным отволаживанием. Для влажного зерна пшеницы при сортовых помолах, при сортовых помолах ржи увлажнение и отволаживание осуществляют за один основной этап и до увлажняют зерно на небольшую величину с кратковременным отволаживанием. В обойных технологиях увлажнение и отволаживание проводят в один этап. При делении общей степени увлажнения и общего времени отволаживания на первое и второе основное принимают соотношение 3:1 и (2:1). Это значит, что время отволаживания и степень увлажнения первого основного этапа должно приниматься в два или три раза больше, чем второго этапа [6].

Холодный способ гидротермической обработки в технологии крупы осуществляется в один этап - увлажнение с использованием аппарата любого принципа действия сочетается с кратковременным отволаживанием. Как уже было сказано выше, отволаживание в технологии крупы не играет столь существенной роли, как в технологии муки. Поэтому осуществляется в емкостях любой конструкции и материала. Так, отволаживание пшеницы осуществляют в диапазоне 0,5-2 часа после увлажнения до 14,5-15,0 %.

Кукурузу при производстве пятиномерной шлифованной крупы увлажняют до 15,0-16,0 % с отволаживанием в течение 2-3 часов, а при производстве крупы для хлопьев и палочек, соответственно, до 19,0-22,0 % и в течение 2 часов.

Увлажнение рекомендуется проводить подогретой до 35-40 °С водой, что несколько интенсифицирует процесс влагопоглощения и влагопереноса.

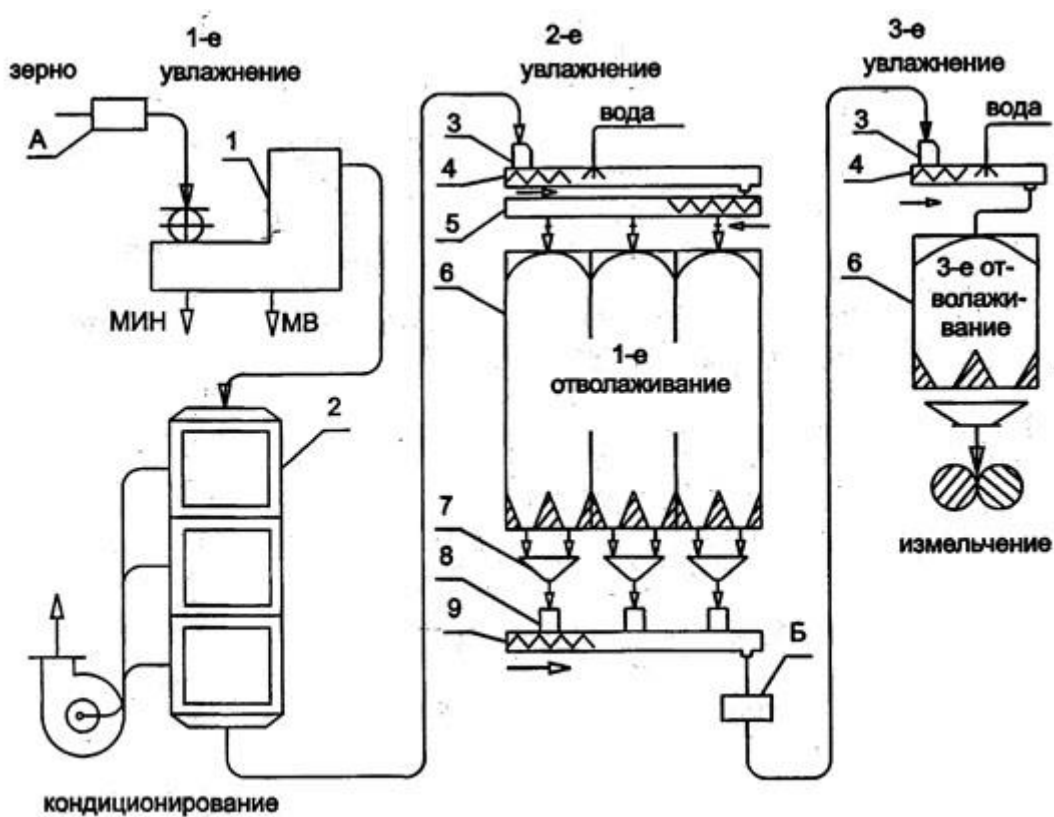
## **1.4. ГИДРОТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЗЕРНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕПЛОВЫХ ФАКТОРОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ**

### **1.4.1. Горячий способ гидротермической обработки зерна**

Этот способ относят к среднеинтенсивным. Для его осуществления используют специальные воздушно-водяные кондиционеры, где зерно проходит ряд нагревательных секций, контактирует с поверхностями нагрева, что приводит к прогреву зерна и к испарению некоторого количества влаги с поверхности. Процесс обезвоживания интенсифицируется благодаря эффективной аспирации оборудования [7].

Принципиальная схема горячего кондиционирования представлена на рисунке 1.2. По технологической схеме зерно предварительно обрабатывается в моечной машине, где, кроме первого увлажнения, осуществляется эффективная обработка поверхности зерна, выделяются тяжелые минеральные примеси и часть легких примесей и щуплого зерна вместе с моечной водой. На втором этапе зерно прогревается в течение 20-30 мин в воздушно-водяном кондиционере, что благоприятно сказывается на качестве клейковины (особенно для зерна со слабой клейковиной), благодаря тепловому воздействию интенсифицируется внутренний влагоперенос и, соответственно, все процессы, связанные с разрыхлением эндосперма зерна. После обработки в кондиционере осуществляется повторное увлажнение зерна и отволаживание в течение 2-8 часов в зависимости от типа зерна и стекловидности. Верхний предел принимают для высокостекловидной пшеницы IV-го типа, а нижний - для низкостекловидного зерна III-го типа. Непосредственно перед измельчением зерно до увлажняют на 0,3-0,5 % и отволаживают в течение 0,3-0,5 ч для пластификации оболочек. Суммарная степень увлажнения должна соответствовать данным таблицы 1.1.

При эксплуатации кондиционеров рекомендуется поддерживать температурный режим в зависимости от качества клейковины зерна. Для зерна с крепкой клейковиной температура нагрева не должна превышать 40-45 °С, а для зерна со слабой клейковиной - 50-55 °С. Температура зерна на выходе из кондиционера колеблется в пределах 18-25 °С. Рекомендуется использовать метод горячего кондиционирования для сортовых помолов пшеницы. В настоящее время метод находит ограниченное применение из-за высокой стоимости аппаратуры и оборудования, а также тепловой энергии.



*А-технологические линии начальной подготовки зерна;*

*Б-технологические линии заключительной подготовки зерна;*

*МИН - минеральная примесь; МВ - моечная вода*

*Рис. 1.2. Технологическая схема горячего кондиционирования зерна:*

1 - мойка зерна; 2 - кондиционер; 3 - индикатор наличия зерна;

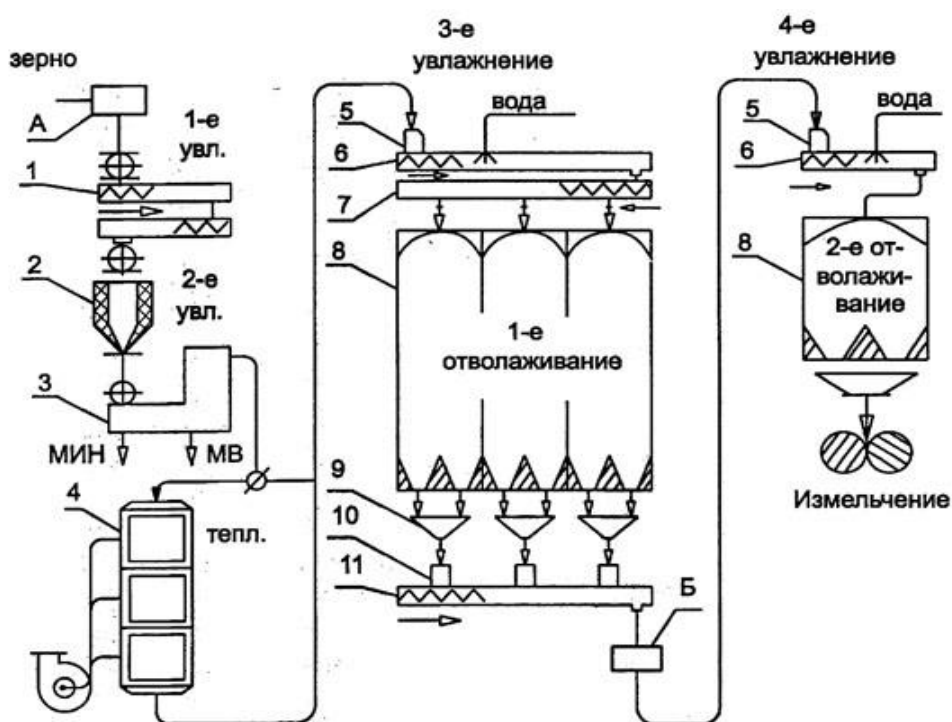
4 - шнек-смеситель; 5 - распределительный шнек; 6 - емкости для отволаживания;

7 - сборные воронки; 8 - дозатор зерна; 9 - шнек-смеситель

## 1.5. СКОРОСТНОЙ МЕТОД ГИДРОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЗЕРНА

Метод относится к интенсивным, что связано с пропариванием зерна на начальном этапе. Наиболее эффективен метод для пшениц со слабой клейковиной и для мукомольных заводов с ограниченной вместимостью емкостей для отволаживания. Благодаря тепловому воздействию при пропаривании, а также прогреву зерна во влагоснимателе интенсифицируется влагоперенос и процесс разрыхления эндосперма зерна. В связи с этим преобразования свойств заканчивается намного быстрее, чем при обычных (холодных) способах гидротермической обработки [8].

Поэтому способ получил название скоростного этапа скоростного кондиционирования представлены на технологической схеме в соответствии с рисунком 1.3.



*Рис. 1.3. Технологическая схема скоростного способа гидротермической обработки зерна:*

*А - технологические линии начальной подготовки зерна;*

*Б - технологические линии заключительной подготовки зерна;*

*1 - пропариватель; 2 - емкость для выравнивания температуры; 3 - мойка; 4 - тепловая обработка; 5 - индикатор наличия зерна; 6 - шнек-смеситель; 7 - шнек распределительный; 8 - емкости для отволаживания; 9 - сборные воронки; 10 - дозаторы зерна; 11 - шнек-смеситель*

Кратковременное пропаривание производят влажным насыщенным паром, что более эффективно увлажняет зерно, чем пропаривание при повышенном давлении пара. Экспозиция пропаривания 20-40 с. За это время влажность зерна повышается на 1,5-2,0 %, а температура зерна может достигнуть 45-55 °С. После пропаривания зерно кратковременно (в течение 10 мин) отволаживается в емкости с теплоизоляционными стенками. Этого времени достаточно, чтобы выровнять в некоторой степени температуру зерна и создать таким образом одинаковые условия для зерновой массы при проведении второго увлажнения. Второе увлажнение совмещают с интенсивной обработкой поверхности зерна в моечной ванне и отжимной колонне моечной машины. При этом влажность зерна еще повышается на 1,5 %, снижается его зольность и удаляются тяжелые и легкие примеси. В результате мойки температура зерна снижается до 25-30 °С. Далее технология предусматривает тепловую обработку в специальном аппарате влагоснимателе в течение 10-15 мин. При этом удаляется около 1 % влаги.

Третье увлажнение осуществляют в увлажнительных аппаратах любого принципа действия. При этом рассчитывают, чтобы суммарное увлажнение было равно требуемой степени увлажнения в соответствии с качеством зерна и типом помола. Отволаживание при данном способе гидротермической обработки составляет 180 мин, т. е. значительно сокращено в сравнении с холодным способом. Дополнительное увлажнение на 0,3-0,5 % и кратковременное отволаживание в течение 0,3-0,5 ч осуществляются для пластификации периферийных частей зерна, как и при любом способе гидротермической обработки при проведении помолов в сортовую муку. Таким образом, в результате чередующихся увлажнений с различными температурными параметрами тепловой обработки и кратковременного отволаживания разрушается структура зерна, ослабляются связи между разделяемыми оболочками и эндоспермом, что в целом приводит к оптимизации технологических свойств зерна. Одновременно тепловое воздействие может положительно воздействовать на зерно с ослабленной клейковиной.

## **1.6. ГИДРОТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЗЕРНА С ЖЕСТКИМИ РЕЖИМАМИ ВОЗДЕЙСТВИЯ**

Применение высокотемпературной обработки, прежде всего, необходимо для укрепления ядра крупяных культур в технологии недробленых круп и в технологии быстро-разваривающихся круп или продуктов, не требующих кулинарной обработки. В практической технологии крупы по такой технологии обрабатывают гречиху при производстве ядрицы, овес - в технологии пропаренной недробленой овсяной крупы и при производстве гороха лущеного целого и колотого.

Технология многоэтапная, с обработкой паром, сушкой и охлаждением, с промежуточным отволаживанием. В соответствии с рисунком 1.4 пропаривание осуществляют или в аппаратах порционного действия или в пропаривателях непрерывного действия.

Выбор средства для пропаривания, в первую очередь, диктуется возможностью обеспечить параметры обработки, такие как экспозиция пропаривания, температура и давление пара. С учетом того, что экспозиция пропаривания может составить до 5-8 мин, предпочтение отдают порционным пропаривателям (периодического действия).

Для обеспечения бесперебойной работы пропаривателей непосредственно перед каждым аппаратом устраивают оперативные емкости с вместимостью, равной не менее чем двухкратной вместимости аппарата.

Совмещение двух операций - увлажнения и тепловой обработки уже в начальной стадии процесса позволяет активно преобразовывать свойства зерна, в первую очередь, за счет изменения биохимического характера (см. раздел увлажнение и тепловая обработка) и структурно-механических свойств. Эти изменения в зерне крупяных культур продолжаются на втором этапе при тепловой обработке в специальных сушилках для крупяных культур с конвективно-кондуктивным способом теплопередачи.



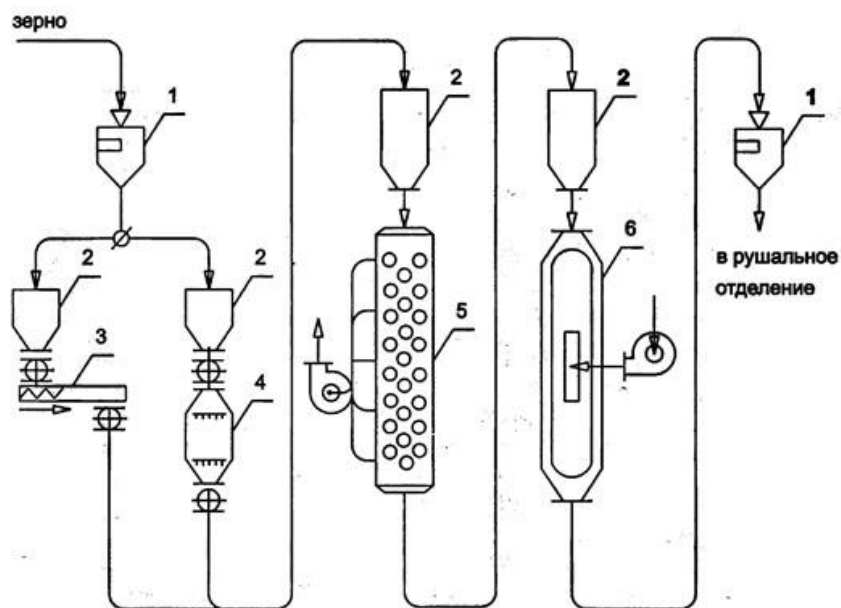
При прохождении в камере-сушилке зерно контактирует с паровыми трубами, расположенными в шахматном порядке. По трубам циркулирует пар с давлением 0,35 МПа, с температурой до 163°C.

Интенсивный прогрев сопровождается интенсивным испарением влаги, разрушением связей между разделяемыми в процессе технологии анатомическими частями. Процесс обезвоживания периферийных частей зерна усиливается благодаря поперечной продувке слоя зерна воздухом. Обезвоженные оболочки пленчатых культур растрескиваются и становятся легко отделимыми при шелушении. В соответствии с ГОСТом 9353 [9] в зерне, подготовленном для помола, допускается не более 1% примесей. Это и является определяющим фактором технологической ответственности процесса очистки зерна.

Глубокие биохимические изменения, начальный этап которых наметился уже при пропаривании, завершаются.

Образовавшиеся декстрины укрепляют ядро, что благоприятно сказывается на сохранении его целостности. Для оптимальной работы сушилок требуется установить перед каждой оперативную емкость на 1,0-1,5 часа работы сушилки. Для сохранения приобретенных на первых двух этапах свойств зерно охлаждают на третьем этапе в специализированных охладительных колонках или в аппаратах (оборудовании) с интенсивной аспирацией и разомкнутым циклом воздуха.

Избегают охлаждения атмосферным воздухом с высоким влагосодержанием. Температура зерна после охлаждения не должна превышать температуру окружающего воздуха более чем на 5-10 °С.



*Рис. 1.4. Технологическая схема гидротермической обработки крупяных культур:*

*1 - автоматические весы; 2 - оперативные емкости;  
3 - пропариватель непрерывного действия; 4 - пропариватель периодического действия; 5 - сушилка для крупяных культур; 6 - аппарат для охлаждения*

## **1.7. ТЕХНОЛОГИИ ГИДРОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЗЕРНА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЗЕРНОВЫХ ПРОДУКТОВ БЫСТРОГО ПРИГОТОВЛЕНИЯ И ГОТОВЫХ К УПОТРЕБЛЕНИЮ**

При производстве круп быстрого приготовления влаготепловая обработка предназначена для перевода основных компонентов химического состава круп - крахмала и белков в полуготовое состояние. В соответствии с рисунком 1.5 увлажнение круп может осуществляться в любых аппаратах, где можно довести влажность крупы до 25-27 %.

Хорошие результаты получают при использовании промышленной моечной машины, где операция увлажнения совмещается с операцией санитарной мойки. Для интенсификации влагопоглощения используют воду с температурой 25-27°C. Крупа с высокой влажностью быстро слипается, что делает ее трудносыпучей. Поэтому отволаживание в течение 40 мин осуществляют или в емкостях с ворошителями, или в шнеках с минимальной скоростью вращения. Пропаривание круп осуществляют в шнековых пропаривателях непрерывного действия при давлении пара 0,1 МПа.

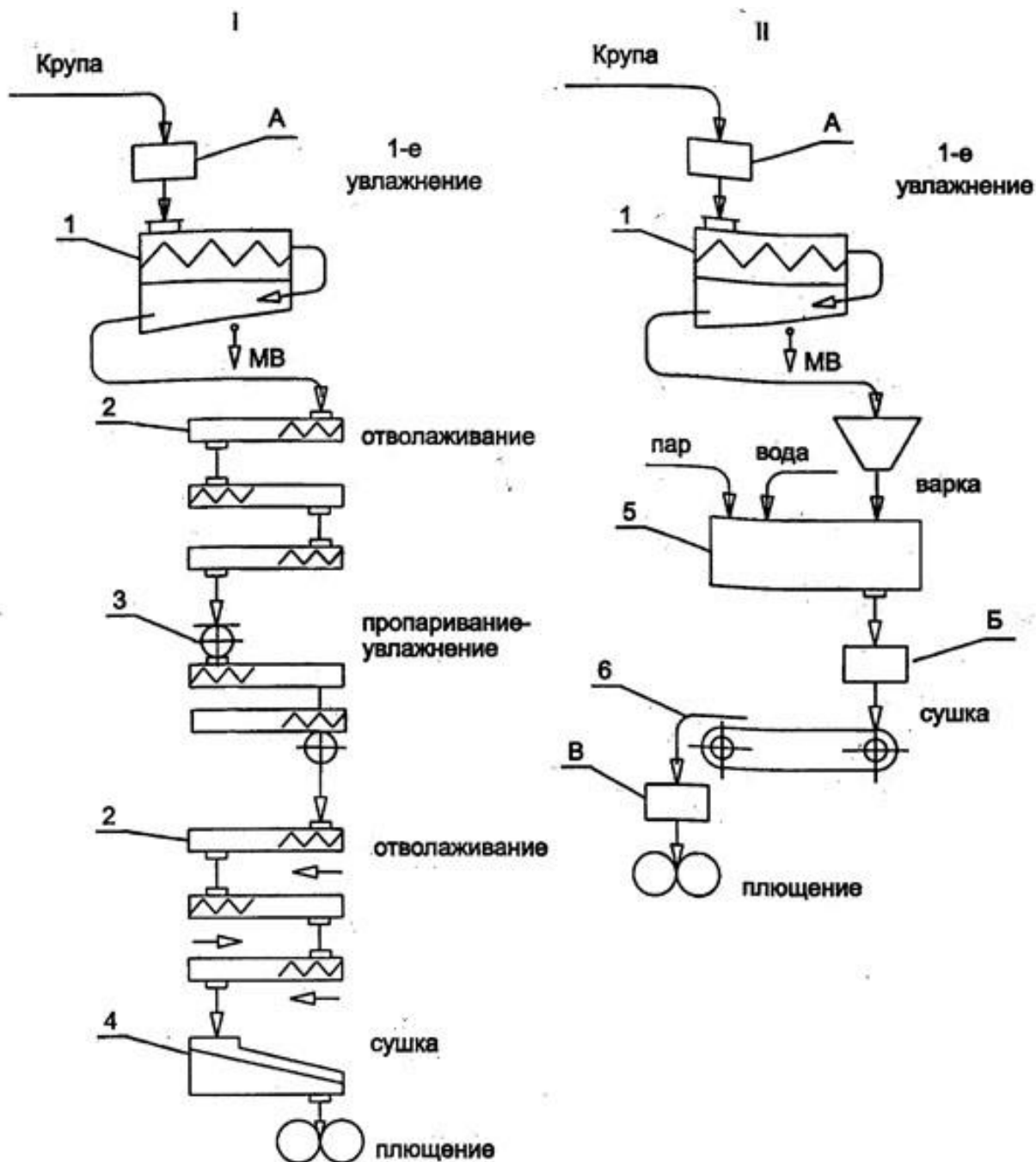
Продолжительность пропаривания составляет около 3 мин. За это время крупа прогревается, в ней начинаются процессы тепловой денатурации белков, клейстеризации крахмала, продолжается набухание, а влажность возрастает до 28-29 %. После пропаривания крупа вновь отволаживается, как и в первом случае в специальных емкостях или в шнеках-ворошителях. Время второго отволаживания 30-40 мин. После отволаживания перед плющением крупа подсушивается до влажности 23-'25 %, которая считается оптимальной для плющения.

В технологии гидротермической обработки при производстве круп, не требующих варки, используют операцию варки острым насыщенным паром. Кулинарная обработка такого продукта состоит из заливки кипящей водой и набухания в течение 10 минут. По технологии крупу увлажняют при мойке в промышленной моечной машине при расходе воды 2-2,5 литра на килограмм крупы. Экспозиция мойки 3-5 мин. При этом влажность крупы повышается до  $27\pm 3$  %. Крупу с такой влажностью обрабатывают в специальных варочных аппаратах воздействием водяным паром с давлением 0,2 МПа.

Экспозиция обработки 45-60 мин, что соответствует времени полной кулинарной готовности.

Влажность крупы после варки должна составлять  $35\pm 3$  %. В связи с этим в варочный аппарат добавляют расчетное количество воды. Расчет ведут по формулам усушки с учетом начальной и конечной влажности. При этом учитывают, что крупа может поглощать некоторое количество конденсата, которое устанавливают экспериментальным путем [10].

Перед плющением сваренную крупу подсушивают при температуре теплоносителя 100-150 °С. Влажность крупы после подсушивания разная в зависимости от вида. Так, для крупы из гречихи -  $25\pm 2\%$ , а для пшеничной и перловой -  $20\pm 2$  %.



*A - предварительная обработка; Б, В - промежуточная обработка;  
МИН - минеральная примесь; МВ - моечная вода*

*Рис. 1.5. Гидротермическая обработка при производстве круп быстрого приготовления (I) и не требующих варки (II): 1 - мойка-увлажнение; 2 - шнеки-ворошители; 3 - пропариватель; 4 - сушилка; 5 - варочный аппарат; 6 - сушилка*

## 1.8. СПЕЦИФИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ ГИДРОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЗЕРНА В ТЕХНОЛОГИИ КОМБИКОРМОВ

Основная направленность гидротермической обработки в технологии комбикормов состоит в изменении питательности и перевариваемости комбикормового сырья, а также некоторых его физических свойств для оптимизации операции плющения, гранулирования и т. п.

Установлено, что у молодняка животных недостаточно развита активность амилолитических ферментов и крахмал, основная часть зерна, является для них трудноперевариваемым веществом. Поэтому при производстве комбикормов для молодняка животных крахмал содержащие культуры (ячмень, овес, кукуруза и др.) целесообразно подвергать влаготепловой обработке (ВТО) для превращения крахмала в более простые углеводы: декстрины, мальтозу и сахарозу. Так, на комбикормовых заводах при животноводческих комплексах производится обжаривание ячменя, входящего в рецепты для поросят. При этом зерно обрабатывают нагретым воздухом с применением барабанных обжарочных агрегатов. При такой обработке происходит декстринизация крахмала. Максимальное количество декстринов (до 36 % на сухое вещество зерна) образуется при обработке зерна влажностью 16-22 % в течение 2 мин и  $t = 300$  °С. Такая обработка ячменя существенно повышает питательную ценность комбикорма.

Разработан также метод ГТО с применением интенсивного нагрева зерна ИК-лучами (микронизация). Широко используют обработку зерна в экструдерах. Для поросят-сосунов и отъемышей, подкормка которых начинается с 9-дневного возраста, а отъем в 26 дней и у которых еще слабо развита ферментативная секреция желудка, а природный крахмал зерна является трудноперевариваемым, необходимо вырабатывать комбикорма с улучшенными вкусовыми и легкоперевариваемыми углеводами, в которых крахмал находится в форме декстринов, мальтозы и т. д. С этой целью зерновую часть комбикормов (ячмень, кукурузу, пшеницу, отруби и т. п.) подвергают обработке в экструдерах.

В настоящее время разработана и утверждена «Технологическая инструкция по производству специальных комбикормов с применением экструдеров».

Экструзией называется процесс переработки продуктов в экструдере. Экструдер, от латинского extrudo - выталкиваю, это машина для размягчения или пластификации продуктов и придания им формы путем продавливания через профилирующий инструмент - экструзионную головку, сечение которой соответствует конфигурации изделия.

Процесс экструдирования биополимеров относится к термодинамическим методам обработки, которые включают как статические режимы, так и динамический эффект давления, температур, осмоса и др.

В основе экструдирования лежат два процесса - механико-химической деформации и взрыва, или «декомпрессионный шок», трансформированный на участке ударного разряжения. Эти процессы непрерывны, осуществляются под действием деформативных напряжений и теплоты при определенных скоростях подвода и отвода тепла и давления.

Экструдирования зерновых компонентов или их смеси производится на экструдерах различных марок и типоразмеров. Процесс экструдирования осуществляется при следующем режиме: температура продукта на выходе - 120-130 °С; нагрузка основного двигателя - 60-65 А. В шнеке экструдера устанавливают шайбы 0 117,5 мм на входе и 125 мм на выходе.

Для улучшения работы экструдеров, повышения стабильности процесса экструдирования следует проводить увлажнение зерновых продуктов водой или паром (3-5 %).

Для этого проводят воду к приемному патрубку экструдера. В модернизированном экструдере установлен пропариватель-смеситель, который монтируется между питателем и шнеком экструдера. Режим работы пропаривателя: давление пара - 0,1-0,3 МПа; расход пара - 50-70 кг/т; температура пропаренной смеси - 70-80 °С на выходе из пропаривателя, влажность пропаренной смеси - 17-18 %.

Выходящие из экструдера гранулы 0 10-15 мм и длиной 20-30 мм имеют вспученную пористую структуру, их объемная масса 300-320 кг/м<sup>3</sup>. После экструдера продукт охлаждают до температуры не выше, чем на 15-18 °С окружающей среды. Влажность продукта не более 11 %, объемная масса после охлаждения 580-600 кг/м<sup>3</sup>.

После экструдирования смеси содержание декстринов в ней повышается с 1,65 до 10,6 %, крахмал полностью клейстеризуется, его Перевариваемость в результате этого повышается в 2 раза. Перевариваемость протеина остается на том же уровне. В процессе экструдирования происходит обеззараживание грибной флоры на 99,5 %, бактериальной - на 99,9 %.

Изучение эффективности использования комбикормов показало, что среднесуточный прирост живой массы поросят, получавших рацион с экструдированными компонентами, был выше на 18,6 %, чем у контрольной группы.

Наиболее эффективным способом тепловой обработки является микронизация. Сущность ее заключается в воздействии на зерно микроволновым инфракрасным излучением.

В процессе микронизации концентрированный и легко управляемый поток инфракрасных (ИК) лучей с частотой 700-1200 млн мегациклов в секунду, взаимодействуя с обработанным зерном, преобразуется в тепло. В результате происходит быстрый внутренний разогрев зерна. При интенсивном прогреве зерна ИК-лучами при температуре 150-170 °С в течение 30-80 с значительно изменяются его физические, биохимические и коллоидные свойства. Содержащаяся в зерне влага быстро переходит в состояние закипания. Крахмал при этом набухает и же латинизируется, происходит клейстеризация и декструкция крахмала, который переходит в стадию, близкую к превращению его в Сахар, что делает энергетическое содержание зерна более доступным для усвоения животными.

Микронизация обеспечивает высокое санитарное состояние обрабатываемого зерна, она успешно решает задачу инактивации



антипитательных веществ при обработке соевых бобов (наблюдается денатурация трипсинового ингибитора, липоксигеназы и уреазы), при этом потери жирорастворимых витаминов не наблюдаются.

Таким образом, в результате взаимодействия на зерно влаги и тепла происходят интенсивные преобразования всех видов и свойств. Закономерным результатом этих преобразований является оптимизация технологических свойств, изменение пищевых, вкусовых достоинств и питательности продуктов, обеспечивается более безопасное хранение, появляется возможность выпуска продукции с заранее обусловленной влажностью. Наблюдаются также некоторые негативные явления.

Оптимизация технологических свойств при гидротермической обработке является следствием следующих преобразований в зерне [11]:

- благодаря повышению влажности пластифицированные оболочки в технологии муки отделяются без дробления, что положительно сказывается на качестве муки;
- разрушение связи оболочек и эндосперма (разделяемых анатомических частей в технологии) позволяет с минимальными затратами выполнить основную задачу технологии;
- предразрушенный микро- и макротрещинами эндосперм легче измельчается с образованием крупок и дунстов, что благоприятно сказывается на ведении технологического процесса в технологии муки;
- обезвоженные наружные оболочки крупяных пленчатых культур становятся хрупкими и легко разрушаются при их отделении от ядра
- увеличивается прочность ядер крупяных культур, что позволяет увеличить выход недробленной продукции;
- повышается пластичность зародыша, что делает возможным его отделение без излишнего дробления.

Улучшение пищевых достоинств продукции из зерна является следствием:

- миграции водорастворимых биологически активных веществ из периферии зерна в эндосперм;
- исчезновения горечи в некоторых крупяных продуктах (например, в крупе из овса);
- приобретения запаха, свойственного увлажненным и слегка поджаренным хлебным злакам;
- снижения потерь крахмала в варочную воду благодаря клейстеризованному крахмалу;
- улучшения консистенции сваренной крупяной продукции, отсутствием комкования, лучшего усвоения.

**Гидротермическое обработанное зерно позволяет:**

- обеспечить выпуск продукции с заранее обусловленной влажностью;
- увеличить стойкость продукции при хранении в связи с инактивацией ферментов липазы и липаксигеназы, которые активизируют окислительные процессы жира.

Дыхание зерна после гидротермической обработки с интенсивными режимами прекращается почти полностью и зерно становится стерильным. Уничтожаются плесени, споры насекомых-вредителей. Зерно с более плотным (после гидротермической обработки) эндоспермом меньше повреждается насекомыми-вредителями, менее гигроскопично [12].

При гидротермической обработке с интенсивными тепловыми режимами наблюдаются некоторые негативные явления:

- потемнение эндосперма риса, что ухудшает товарный вид крупы;
- снижение содержания биологически активных веществ;
- увеличивается энергоемкость некоторых процессов из-за упрочнения поверхности ядер.

## **II РАЗДЕЛ**

### **2.1. ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИБОРОВ КОНТРОЛЯ ВЛАЖНОСТИ ЗЕРНА ДЛЯ МУКОМОЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

Мука является одна из важнейших ценных продукций. На зерноперерабатывающих предприятиях Республики Узбекистан ежегодно перерабатывают свыше пять миллион тонн зерна.

Обеспечение продовольственной безопасностью отрасли хлебопродуктов, является одной из важнейших звеньев сферы агропромышленного комплекса.

Целевым требованием зерноперерабатывающих комбинатов являются – высоко качественная мука. С этой целью необходимо усовершенствовать технологические процессы зерноперерабатывающих предприятий, в результате из зернового сырья получает ряд сортов готовый продукции.

Однако, для выпуска качественной готовой продукции необходимо: качественное сырье, разработка правильного состава помольный партии, организация технологического регламента работы на мельницах.

Одним из основных процессов улучшения качества продукции является подготовка к помолу гидротермическая обработка (ГТО) зерна, в результате улучшается качество готовый продукции, снижаются затраты расхода электроэнергии, улучшается санитарно-гигиенические состояние цехов и условия труда обслуживающего персонала [13].

Необходимо отметить, проблема гидротермической обработки зерна до настоящего время остаётся актуальной задачей.

#### **1. Объект и предмет исследования**

На ОАО «Г'АЛЛА-АЛТЕГ» завод поступают партии зерна пшеницы с различным качеством, каждая партия зерна по своему составу также неоднородна по структуре в т.ч. физико-механическим, технологическим и физико-химическими свойствами.

Учитывая эти особенности, в условиях зерноперерабатывающих предприятий требуется тщательно изучать качества поступающих местных сортов зерна, а также проводить исследование и научно обоснование по совершенствованию технологического процесса, подготовке зерно к помолу и в самом процессе помола.

Одним из проблемных вопросов на ОАО «Г'АЛЛА-АЛТЕГ» а также предприятиях мукомольной отрасли Республики Узбекистан остаётся отсутствие инструментальных методов определения структурно-механических свойств зерна, что приводит к неполному использованию технологических свойств местных сортов зерна, в результате чего не позволяет устанавливать оптимальные режимы подготовки и измельчения зерна.

Зная структурно-механические свойства зерна и его механизм деформирования, намного облегчится совершенствование процесса как очистки, фракционирование, а также измельчение. Также наблюдается, высокая неоднородность зерна по длине, ширине и толщине, что сказывается на его механических свойствах (таблица 2.1).

*Таб.2.1*

### **Геометрические параметры зерна**

Пшеница	критический скорость	длина, мм	ширина, мм	толщина, мм	плотность, мм	масса 1000 зерна, гр	насып масса
	8,5-11,5	4,0-8,6	1,6-4,0	1,5-3,8	1,2-1,5	22-42	0,05- 0,81

Проведенные нами исследования показали, что при гидротермической обработке зерна, позволяет направленно изменять его исходные свойства (физико-химические, структурно-механические, биохимические и др.). При чем благодаря воздействию влаги, температуры, а также отволаживание снижается, стекловидность зерна пшеницы, повышается степень разрыхления эндоспермы,

под влиянием развивающихся биохимических процессов происходит перераспределение химических веществ по анатомическим частям зерна. Как известно из [14], в результатах наших исследований показано, при правильно выбранных режимах ГТО пшеницы снижается зольность муки высоких сортов, выход муки увеличивается на 1-2% и больше.

Как известно существует ряд методов ГТО. Однако, пока в Республике Узбекистане применяют в основном один метод ГТО - холодное кондиционирование. В этом случае зерно увлажняется водой и выдерживается (отволаживается) в бункерах в течение определенного времени для изменения его структурно-механических и биохимических свойств. При выборе параметров кондиционирования необходимо учитывать выравненность партии зерна по стекловидности. Согласно [15] результаты наших исследований подтверждают, что, наилучшие результаты гидротермической обработки приемлемы тогда, когда партия зерна однородна по физико-механическим свойствам (таблица 2.2).

*Табл.2.2*

### **Физико-механические свойства зерно-пшеница**

длина, мм	ширина, мм	толщина, мм	плотность, мм	масса 1000 зерна, гр	насыпная масса, кг/м <sup>3</sup>	скорость витания, м/с <sup>2</sup>	Эквиволент динамики
4,0-8,6	1,6-4,0	1,4-4,2	1,200- 1,500	20-40	700-750	8,5-11,5	3,5-3,86

Первое увлажнение проводят на моечной машине при приращении влаги до 3,5%. Процесс первой отволаживания длится до 14 часов. Влажность доводит до 14,5%-14,8%. Для второго отволаживания потребуется время от 12 до 14 часов, если стекловидность зерна выше 50 %. При втором увлажнении влажность доводят до 15,8-16,5% на увлажнительном аппарате, если влажность поступающего зерна ниже 12%, на моечной машине то отклонение влажности зерна на I драной системе в большую или меньшую сторону приведет к снижению эффективности переработки зерна пшеницы.

Известно также из [16] при высокой стекловидности пшеницы рекомендовано двукратное отволаживание и увлажнение, причем режимы кондиционирования устанавливаются в зависимости от типа пшеницы, стекловидности (одного из главных показателей выбора ГТО), влажности исходного пшеницы местных сортов колеблется от 8% до 12% и др.

При подготовке к сортовому помолу продолжительность основного отволаживания зерна пшеницы рекомендуется от 16 до 28 ч, где верхние значения для зерна стекловидностью свыше 60%, нижние - стекловидности до 40%.

Основная цель проведения ГТО, направлена на повышение эластичности оболочек, а также на ослабление связи между оболочками и эндоспермом. При использовании данного технологического приема облегчается отделение оболочек от зерна, при незначительных потерях эндосперма, что способствует увеличению выхода муки высоких сортов.

*Табл.2.3*

**Режимы холодного кондиционирования пшеницы  
при сортовых хлебопекарных помолах**

Тип пшеницы	Стекловидность, %	Продолжительность отволаживания, час	Рекомендуемая влажность зерна на I драной системе, %
I	менее 40	от 4 до 8	14,5-15,0
	от 40 до 60	от 6 до 12	15,0-15,5
	более 60	от 10 до 16	15,5-16,0
III	менее 40	от 4 до 6	14,0-14,5
	от 40 до 60	от 6 до 10	14,5-15,0
	более 60	от 8 до 12	15,0-15,5
IV	менее 40	от 6 до 10	15,0-15,5
	от 40 до 60	от 10 до 16	15,5-16,0
	более 60	от 16 до 24	16,0-16,5

Увлажнение и отволаживание пшеницы с исходной влажностью менее 12,0% рекомендуется осуществлять последовательно в два этапа, соотношение величины приращения влаги и продолжительности отволаживания должно составлять порядка 3:1.

Рассмотрим результаты наших исследований, где показаны процессы и факторы, влияющие на эффективность гидротермической обработки, состоящих из следующих факторов: величина увлажнения, температура, время отволаживания, условия и уровень применения которых составляет режим ГТО.

Фактор увлажнения активизирует все сложные физико-биологические изменения в зерне, в результате которых улучшаются его технологические свойства. Температурный фактор способствует ускорению протекания процессов, изменению качества клейковины. Время отволаживания связано со скоростью перемещения влаги в зерне и протекания в нем различных процессов. Эффективность в значительной мере зависит от технологических свойств зерна, так как его индивидуальные особенности оказывают важное влияние на выбор оптимальных режимов гидротермической обработки. В результате исследований установлено, что увлажнение зерна обязательно связано с образованием микротрещин в его эндосперме, посредством которых он необратимо разрушается. Процесс образования трещин развивается с переменной интенсивностью, появление первых трещин в эндосперме зерна пшеницы зарегистрировано через 0,5 часа, к 8-12 часов их образование прекращается. В дальнейшем происходит смыкание наиболее тонких микротрещин и частичное восстановление исходной структуры. Наиболее интенсивное образование микротрещин в эндосперме пшеницы наблюдается при увлажнении до 14,0-16,5%, при 17,5% образование микротрещин не зарегистрировано. Зольность высшего и первого сортов вначале снижается, достигая минимума при влажности 14,5-15,5%, а затем остается без изменений. При холодном кондиционировании зольность общей муки в функции времени снижается от  $t = 2,0$  час до точки  $t = 8,0$  час, после чего переходит процесс выравнивание. Необходимо отметить, что наиболее заметно зольность муки снижается при



отволаживание от 2,0 до 6,0 час, а при отволаживании свыше 6,0 час менее заметно.

Для повышения эффективности технологии, организации контроля, количественного учета сырья, продукции, управления технологическим процессом необходимо внедрения автоматизированной системы контроля для управления технологическими процессами.

Если ставятся задачи по оперативному и жесткому контролю сырья и произведенной продукции, по точному отслеживанию выполнения технологического регламента, по контролю за действиями технологического персонала, по повышению персональной ответственности операторов за решения, повлекшие за собой убытки, то альтернативы компьютеризованным системам управления, пожалуй, нет. Эффективная работа предприятия в сложившихся рыночных условиях требует, прежде всего, создания на предприятии повышения эффективности технологических процессов, организации совершенного контроля и управления производством [17].

## **2. Анализ состояние проблемы**

Одним из контролируемых параметров зерна является его влажность, начиная от поставки до его полной переработки. Как известно, капиллярно-пористые коллоидные материалы представляют собой сложные гетерогенные смеси органических (например, зерно) и неорганических веществ. Для органических материалов характерна развитая внутренняя поверхность, поэтому они могут связывать значительное количество воды (до 50% и более). Другая важная особенность материалов растительного происхождения – неравномерность распределения в них влаги, с чем нельзя не считаться при разработке и эксплуатации средств измерения влажности.

Все компоненты зерна имеют капилляры и поры с широким непрерывным спектром размеров. Поэтому для зерна связь капиллярах является основной формой связи при средних влажностях молекулярный механизм движения влаги в капиллярах зависит от размеров. Если радиус капилляра

значительно больше длины свободного пробега молекулы воды ( $\lambda$ ), что имеет место в случае переноса в макро капиллярах, то плотность потока массы определяется по формуле Пуазейля:

$$n = \frac{r^2}{8\mu} \frac{dP}{dX} = \frac{r^2}{8\nu} \left( \frac{P_1 - P_2}{L} \right) \quad (2.1)$$

Для случая микрокапилляров ( $r \ll 0,1\mu$ ) перенос будет определяться молекулярным режимом. В этом случае плотность потока массы можно определить по формуле:

$$n = \frac{1}{\pi r^2} \frac{dM}{d\tau} = \frac{8}{3} \sqrt{\frac{\mu}{2\pi kT}} \cdot r \frac{P_1 - P_2}{L} \quad (2.2)$$

где  $\frac{dM}{d\tau}$  - скорость течения пара.

Благодаря сложности и непостоянству капиллярно-пористых характеристик зерна и влиянию истории сорбционных процессов изотермы сорбций, полученные различными авторами, имеют значительное различие.

В зависимости от формы энергии связи и вида материала влага может быть в виде свободной воды, капиллярно связанная (физико-механическая связь), адсорбционная связана (физико-химическая связь) и химически связанная.

Материалы агропромышленного комплекса имеют сложную структуру и обычно почти все виды сельскохозяйственной продукции включают органические и минеральные сорные примеси. Физические свойства компонент этих материалов ( $F_{ki}$ ) существенно различаются и зависят от ряд факторов, в том числе от их влажности ( $W_{ki}$ ), температуры ( $T_{ki}$ ), особенностей макро и микроструктуры ( $S_{ki}$ ), степень зрелости ( $Z_{ki}$ ), условий хранения и переработки ( $X_{ki}$ ).

$$F_{ki} = f(W_{ki}, T_{ki}, S_{ki}, Z_{ki}, X_{ki}) \quad (2.3)$$

Очевидно, что физические свойства материала ( $F_M$ ) зависят от свойства его компонент ( $F_{ki}$ ), их количественного соотношения ( $M_{ij}$ ), взаимного

расположения ( $R_{ij}$ ), количества ( $N$ ), и объема ( $P$ ) воздушных включений между ними.

$$F_m = Q(F_{ki}, M_{ij}, R_{ij}, N, P) \quad (2.4)$$

Влажность материала ( $W$ ) определяется как отношение всей массы воды в контролируемой объеме к сухой массе этого объема ( $M$ ) [8].

$$W = \frac{M_B}{M} = \frac{\sum_1^n W_{ki} \cdot M_{ki}}{\sum_1^n M_{ki}} \quad (2.5)$$

где  $M_{ki}$  – масса  $i$ -компоненты;

$n$  – количество компонент материала.

### 3. Реализация результатов исследования

Следующей задачей является выбор метода и проектирования приборного обеспечения измерения влажности зерна. Для таких материалов как зерно более оптимальным является электрические методы измерения.

По теории гетерогенной поляризации рассматриваются два типа концентрированных сред. Слабо концентрированными считаются среды, в которых размеры неоднородностей малы по сравнению с расстояниями до ближайших элементов системы. Сильно концентрированные среды содержат такие включения, которые существенно влияют на свойства всего материала.

Для матричных систем характерно наличие некой общей фазы – матрицы, в которую вкраплены не связанные между собой частицы, составляющие вторую фазу.

В статических дисперсных системах диэлектрическая проницаемость представляет собой сложную функцию парциальных диэлектрических проницаемостей и объемных концентраций компонентов дисперсионной среды  $\varepsilon_1, v_1$  и дисперсной фазы  $\varepsilon_2, v_2$ , инвариантную к замене индексов

$$\varepsilon = f(\varepsilon_1, \varepsilon_2, v_1, v_2) = f(\varepsilon_2, \varepsilon_1, v_2, v_1). \quad (2.6)$$

Высокочастотные приборы контроля влажности основаны на наличии зависимости между диэлектрической проницаемостью контролируемого материала и его влажностью [18]. Решение этой проблемы требует проведения глубоких теоретических и экспериментальных исследований с целью разработки концептуальных вопросов теории и практики экспресс-влажнометрии в технологических процессах, создания научно обоснованных принципов построения и реализации методов инженерного расчета, выбрать оптимальную рабочую частоту при проектировании измерительных преобразователей. Первичные измерительные преобразователи влажности являются основным элементом, который обеспечивают информационную связь с конкретными характеристиками исследуемого объекта, и в большой степени определяет качества и надежность работы измерительного тракта [19].

#### **4. Методы исследования**

Основным условием успешного выполнения поставленной проблемы является установление аналитических зависимостей между физическими и электрическими характеристиками зерна высокой частоте с учетом неоднородности структуры, скважистости, объемной массы, гранулометрического и электролитического состава, т.е. частотно-влажностных характеристики [20]. При этом особое внимание должна уделяться изучению влияния контактной электропроводности между частицами с учетом шероховатости, высоты микронеровностей, число точек контактирования и т.д. Необходимо также разработка методики нахождения параметров разделения информативных (полезных) и неинформативных (возмущений, помех) сигналов, а также оптимизации частот при частотном разделении параметров. С учетом полученных сведений и должны разрабатывается конструкции измерительных преобразователей и измерительные схемы влажностных систем. Каждый из перечисленных методов измерения имеет определенные модификации, однако, главная их цель – повысить точность измерений.

Критерием отбора метода измерений для построения на их основе влагомеров должен являться точность, которую может обеспечить выбранный метод. Формализовать такой критерий в форме математического выражения вряд ли возможно, но очевидно, что главной составляющей в нем остается точность измерения [21]. Отсутствие сегодня на рынке многих вышеперечисленных приборов контроля влажности еще раз свидетельствует об объективном, проверенном практикой отсутствии явных преимуществ у какого-либо из методов [22].

При экспериментальном исследовании в поле высокой частоты диэлектрических свойств таких материалов, зерно, необходимо решать следующие малоизученные задачи [23]:

- определение и анализ функций преобразования первичного измерительного высокочастотного преобразователя; для этого необходимо экспериментальным путем исследовать зависимости диэлектрических свойств исследуемых продуктов от влажности важнейших влияющих факторов.

- построение на основе полученных экспериментальных данных электрической модели первичного преобразователя, с оптимальной аппроксимацией реальных характеристик исследуемых материалов.

- реализация полученных данных путем проектирования высокочастотных приборов контроля влажности для зерна и зернопродуктов и их испытании в лабораторных и производственных условиях.

## **Выводы и рекомендации**

На основе выполненного анализа и согласно [24] можно констатировать следующее:

1. Проведенный анализ показывает, что в известных работах недостаточно уделено внимания разработке универсальных аналитических моделей диэлектрических свойств гетерогенных систем вообще и дисперсных влагосодержащих тел в частности. Одним из основных причин неудовлетворительности известных формул смеси при их применении к

влажному материалу – отсутствие учета влияния видов и форм связи влаги на электрофизические свойства материала.

2. При проектировании диэлькометрических средств технологического контроля параметров гетерогенных систем достаточно охватить диапазон от инфракрасных до десятков мегагерц, поскольку именно в этом частотном диапазоне проявляются факторы структурой поляризации.

3. Модель диэлектрической проницаемости для зерна, которая учитывает температуру материала, позволяет оценить степень и характер влияния фактора на суммарную погрешность измерения влажности зерна и, следовательно, может быть использована для введения в результат измерения необходимых поправок.

## **2.2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИЗМЕРЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ТВЕРДЫХ И СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ**

Методы измерения влажности твердых и сыпучих материалов, основаны на преобразовании влажности в другую физическую величину с использованием современной измерительной техники.

Влага является одним из обязательных компонентов всех живых организмов на земле, а также большинства материалов, используемых человеком. От влажности зависят физические, химические, механические и технологические свойства значительной части неметаллических материалов.

Почти во всех отраслях промышленности, в сельском хозяйстве, энергетике и строительстве применяются процессы сушки и увлажнения, предназначенные для изменения влажности материалов. Поэтому количественное определение влажности твердых материалов, жидкостей и газов необходимо почти во всех отраслях экономики, в научных исследованиях, связанных со многими областями знаний.

Для характеристики содержания влаги в твердых и сыпучих материалах применяются, как правило, две величины: влагосодержание  $U$  и влажность  $W$ , выражаемая в относительных единицах или в процентах.

**Влагосодержание** – отношение массы влаги (воды)  $M$ , содержащейся в материале, к массе абсолютно сухого материала  $M_0$

$$U = \frac{M}{M_0} \quad (2.7)$$

**Влажность** - отношение массы влаги  $M$ , содержащейся в материале, к массе влажного материала  $M_w$ , т.е.

$$W = \frac{M}{M_w} = \frac{M}{M_0} + M \quad (2.8)$$

Вода в состав материала может попадать в результате:

- Абсорбции на поверхности и в порах;
- Гидратации полярных групп макромолекул;
- Внедрения в состав решетки кристаллогидратов минеральной части.

Масса материала, которую получает потребитель – это рабочая масса материала. Если её высушивать при комнатной температуре, то после испарения внешней влаги, проба придет к воздушно-сухому состоянию. Массу такого образца при размельчении до 0,2 мм называют аналитической массой материала. Однако в составе породы еще остается значительное количество влаги, которая удерживается капиллярными и сорбционными силами. Чтобы ее удалить, материал нагревают до 105°C. [25].

Часть воды, которая испарится при нагревании, есть общая влага рабочей массы материала. В результате остается сухая масса материала. Дальнейшее нагревание приводит к разрыву связей в кристаллогидратах и выделению химически связанной воды. Показатель общей влаги  $W_h$  рабочей массы материала равен отношению массы влаги, выделившейся при температуре обезвоживания, к массе анализируемого образца  $m_a$  и выражается формулой:

$$W_h = \frac{m_a - m_d}{m_a} 100, \quad (2.9)$$

где:  $m_d$  - масса сухого материала, полученная при температуре обезвоживания.

## **Контроль учёта и измерения влажности**

Контроль и измерение влажности материала на узлах учета является обязательным, поскольку любое отклонение от согласованных поставщиком и потребителем спецификаций влечет серьезные штрафы. Поэтому приборы контроля влажности на узлах учета должны удовлетворять следующим требованиям [26]:

- быстрый отклик, требующийся, чтобы избежать производства некондиционного материала;
- низкая погрешность и воспроизводимость результатов измерений, чтобы гарантировать соблюдение требованиям спецификации товарного материала.

В технологическом процессе переработки зернистых материалов одним из основных факторов, влияющим на качественные и количественные показатели, является влажность. Изменение влажности на 0,1% от оптимального значения уменьшает выход порядка от 0,8 до 1,0%, что приводит к потерям дохода.

Анализируя проведенные нами исследования диэлькометрического метода и приборов, основанные этим методом для различных свойств материалов аналогичной зерновой массы, обладают перед другими рядом существенных преимуществ и недостатков.

При исследовании диэлькометрического высокочастотного метода важной является задача построения математической модели высокочастотного прибора, позволяющего получать достаточно точное математическое описание функции преобразования и функций влияния основных влияющих величин.

Рассматриваемые диэлькометрические влагомеры твердых и сыпучих материалов в настоящее время получили широкое распространение практически во всех отраслях науки и техники, где с их помощью измеряется влажность в пище – концентратов, муки, чая, зерна, солода, в аграрной отрасли – влажность хлопка-сырца, семян хлопчатника, шелухи, шрота, жмыха, пшеницы, кукурузы, ячменя, и многих др. продуктов, полуфабрикатов и исходного сырья.



Для проектирования приборов контроля влажности крайне важным является вопрос выбора измерительного преобразователя, его принципов действия, и конструкции. Изучение влажностных и частотно-влажностных характеристик дает возможность определить функции преобразования схемы диэлькометрического прибора контроля влажности, т.е. преобразования «влажность-диэлектрические свойства» материалов в исследуемом диапазоне частот, выбор оптимальной рабочей частоты для проектирования и разработки измерительного преобразования [6].

Комплексная диэлектрическая проницаемость неполярного твердого диэлектрика определяется комплексными поляризуемостями  $\alpha_1$  и  $\alpha_i$ . [27]. Соответственно и частотная зависимость диэлектрической проницаемости будет определяться частотными зависимостями действительной и мнимой частей электронной и ионной поляризации. Отсюда следует, что действительная и мнимая части

$$\tilde{\varepsilon}^* = \varepsilon' - \gamma\varepsilon'' \quad (2.10)$$

являются функциями приложенного поля и определяются с помощью  $\tilde{\alpha}_1(\omega)$  и  $\tilde{\alpha}_i(\omega)$ : тангенс угла диэлектрических потерь  $\operatorname{tg} \delta = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'}$ ; комплексная проводимость

$$\sigma^* = \sigma' + \gamma\sigma''.$$

Зависимости между этими величинами имеют вид:

$$\varepsilon' = \varepsilon; \varepsilon'' = \frac{\sigma}{\omega}; \operatorname{tg} \delta = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'} = \frac{\sigma}{\omega\varepsilon'}; \quad \varepsilon^* = \varepsilon(1 - j\operatorname{tg} \delta), \quad (2.11)$$

где  $\omega$  - угловая частота,  $\varepsilon$  - диэлектрическая проницаемость,  $\varepsilon'$  - вещественная,  $\varepsilon''$  - мнимая составляющая диэлектрической проницаемости,  $\varepsilon^*$  - комплексная диэлектрическая проницаемость,  $\operatorname{tg} \delta$  - тангенс угла диэлектрических потерь,  $\sigma$  - удельная проводимость.

Зная одну из указанных пар параметров, можно, вычислить любую другую пару. Также используются такие параметры, как добротность контура  $Q = 1/\operatorname{tg} \delta$  или активная  $\sigma'$  и реактивная  $\sigma''$  составляющие комплексной проводимости  $\sigma^*$ .

Практическое значение этих результатов зависит от рабочей области частот. В соответствии с  $\tilde{\alpha}_1(\omega)$  и  $\tilde{\alpha}_i(\omega)$  остаются равными действительным значениям поляризуемости до тех пор, пока частоты, при которых проводятся измерения, лежат в области ниже инфракрасных частот. Поэтому для исследуемых материалов  $\tilde{\epsilon}$  вплоть до микроволновых частот равна  $\epsilon'$  и поведение  $\epsilon^*$  такое же, как в случае статического поля. Измерение влажности диэлектрическим методом основано на различии значений диэлектрической проницаемости твердой основы, воздуха и воды [28].

Их действие основано на сильной зависимости диэлектрической проницаемости веществ  $\epsilon$  от содержания в них влаги; это обусловлено аномально большой  $\epsilon$  воды (81 при 20 °С). Измерение  $\epsilon$  в диапазоне средних частот тока (0,1-30 МГц) сводится к определению ёмкости  $C$  конденсатора, между обкладками (электродами) которого помещено исследуемое вещество  $C = C_0 \cdot \epsilon$ , где  $C_0$ -ёмкость незаполненного конденсатора). В диапазоне сверхвысоких частот (30 МГц и выше) измеряют частоту колебаний объемного резонатора, в котором находится влажное вещество [29].

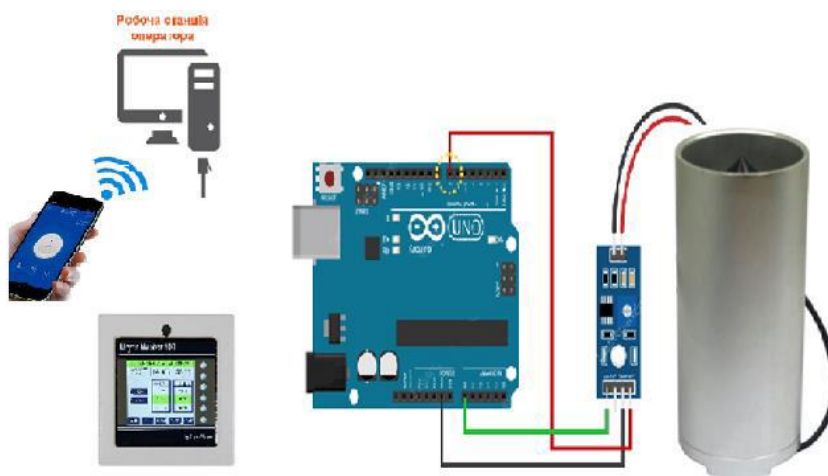
Поскольку относительная диэлектрическая проницаемость воды является величиной постоянной и близка к 81 ( $\epsilon_w \approx 81$ ), диэлектрическая проницаемость большинства сухих веществ лежит в пределах от 2 до 10, например,  $\epsilon_p$  песка колеблется между 3 и 4. Это означает, что существует большая измеряемая разница между диэлектрической проницаемостью воды (80) и материалов. Эту разницу можно измерить и сопоставить с определенным значением влажности. Тогда значение влажности будет выдаваться как типовой сигнал (0–10V постоянного тока или 0–20mA), сопоставляемый с определенным весовым содержанием влаги в исследуемом материале. Другими словами, чем больше в материале воды или другой влаги, тем ближе значение  $\epsilon$  к 80. Тогда даже незначительное изменение влажности вещества вызывает изменение его диэлектрических характеристик – диэлектрической проницаемости, а также тангенса угла диэлектрических потерь  $tg\delta$ .

Приращение диэлектрической проницаемости в зависимости от влагосодержания материала может быть описано в общем случае зависимостью следующего вида:

$$\Delta_\epsilon = \epsilon_\epsilon f(\xi, n, i, r, k), \quad (2.12)$$

где  $\epsilon_\epsilon$  - диэлектрическая проницаемость свободной воды;  $\xi$  - фактор, определяемый распределением и формой включения влаги;  $n$  - отношение объемов свободной и связанной влаги;  $r$  - объемная концентрация воды в материале;  $i$  - отношение диэлектрической проницаемости связанной и свободной воды;  $k$  - отношение диэлектрической проницаемости сухого материала и влаги.

В качестве первичных измерительных преобразователей в диэлькометрических влагомерах используются плоские или цилиндрические конденсаторы (электрические ёмкости), в электрическое поле которых вводится измеряемый материал [30].



*Рис.1. Устройство для контроля влажности зерна в режиме реального времени с использованием ёмкостного первичного преобразователя*

Примером параметрического ёмкостного первичного преобразователя может служить переменная емкость, включенная в контур генератора (рис.1). Здесь при изменении угла поворота оси ротора изменяется емкость датчика и меняется частота генератора, являющаяся выходной величиной.

Ёмкость плоского конденсатора можно рассматривать как

$$C = \varepsilon_a (s/a) . \quad (2.13)$$

Цилиндрического – как

$$C = \varepsilon_a \left[ \frac{2\pi L}{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)} \right], \quad (2.14)$$

где  $\varepsilon_a$  - абсолютная диэлектрическая проницаемость межэлектродного пространства, Ф/м;  $S$  - площадь электродов, м<sup>2</sup>;  $a$  - расстояние между электродами, м;  $L$  - длина цилиндрических электродов, м;  $R_2$  – радиус внутреннего электрода, м;  $R_1$  - радиус внешнего электрода, м.

Из формул (7) и (8) видно, что при постоянных геометрических размерах справедлива следующая функциональная зависимость:

$$C = (\varepsilon) \quad (2.15)$$

Результаты исследования направлена на выявление и раскрытие принципов при проектирование аналогичных экспрессных приборов контроля влажности для рассматриваемых материалов. Ведущим методом к исследованию данной проблемы является выбор метода, на основе которого необходимо будет синтезировать прибор позволяющий комплексно измерять влажность материала на всех этапах их контроля по влажности [31]. В представленных материалах позволят вести инженерный расчет и выбор рабочей частоты и ёмкости измерительных параметров первичного преобразователя ёмкостного типа и синтезировать экспрессный прибор контроля влажности для рассматриваемых материалов [32]. Материалы представляют практическую ценность для пищевых, хлопкоочистительных, зерноперерабатывающих мукомольных производств, где влажность зерна является одним из важнейших технологических параметров, что требуется вести контроль на всех этапах производства материалов [33].

### 2.3. КОНТРОЛЬ ВЛАЖНОСТИ ЗЕРНА В ПРОЦЕССЕ ОТВОЛОЖИВАНИЕ

Применяемые на мукомольных предприятиях автоматизированные системы управления зачастую не обеспечивают требуемой точности увлажнения в силу своей моральной и физической изношенности измерительных устройств, невозможности точного прогнозирования конечной влажности зерна.

В результате чего необходимо обновить измерительные приборы и автоматизировать ряд этапов процесса отволаживания, что позволит разработать метод контроля технологических параметров зерна в процессе отволаживания. В свою очередь система автоматизации позволит обеспечить непрерывный производственный процесс в режимах с наилучшими технико-экономическими показателями по объёму производства, качеству выпускаемой продукции в т.ч. и энергосбережению. При этом уменьшается доля участия человека в производственном процессе и возрастает необходимость автоматического контроля и управления систем технологическими процессами.

Исследования нами проводились в условиях ОАО “G’ALLA - ALTEG” Республики Узбекистан. Узбекистан является прекрасным местом для выращивания зерновых культур. ОАО “G’ALLA - ALTEG” с каждым годом выпускает различные виды муки - сортовую, витаминную, каждая из которых отвечает всем стандартам качества. Контроль качества ведется на каждом этапе производства – начиная от заготовки сырья и заканчивая выходом готовой продукции. Общая переработка зерна, достигает 400 тонн, а также производство комбикормов и кормовых смесей 80 тонн в сутки.

Из зерна пшеницы вырабатывают муку хлебопекарную – крупчатку, нормы качества муки строго регламентированы стандартами: по обязательным и общим признакам и показателям качества. При этом, допустимая зольность пшеничной хлебопекарной муки (не более): высший сорт 0,55%, первый 0,75, второй 1,25%. Показатели качества сортов зерна, поступавших находятся в следующих пределах:

**Показатели качества при отволаживании зерна**

Показатели качество	
Влажность, %	9.0-12.0
Примесь сорная, %	3.0-5.0
Примесь зерновая, %	4.0-7.0
Масса 1000 зёрен, г	38.0-40.0
Объёмная масса, г/л	750-780
Стекловидность, %	48-56
Клейковины %	23-26
Качества ИДК	95-100
Зольность	1.96-1.98

Подготовка зерна к помолу, в современной технологии играет особо важную роль. Для получения высококачественной кондиционной продукции необходима тщательная подготовка зерна, которая включает следующие основные операции: формирование помольной партии, очистку зерна от примесей, очистку поверхности зерна сухим или влажным способами, гидротермическую обработку зерна.

Подготовка зерно для помола построена в три отдельных этапа с самостоятельными задачами. На первом проводят предварительную очистку зерна от примесей (удаляют около 70 - 85% всех примесей) и обработку поверхности зерна в обочных машинах; на втором осуществляют гидротермическую обработку зерна и на третьем этапе повторную обработку поверхности зерна в обочных и щеточных машинах и окончательную очистку зерновой массы. На последнем этапе завершают также кондиционирование зерна с окончательным увлажнением его оболочек и отволаживанием.

Основным способом влаготепловой обработки зерна является холодное кондиционирование. Оно включает в себя две операции: увлажнение зерна и его отволаживание (отлежку) в бункерах. Увлажнение и мойка зерна — это подготовка его к помолу, направленная на изменение исходных технологических свойств продукта. Влажность поступающего на переработку зерна обычно невысока (9 -12 %). При такой влажности свойства эндосперма и оболочек

различаются незначительно. Увлажнение зерна до 16% изменяет его физические свойства. Все это облегчает их разделение при размоле зерна, снижает затраты энергии на эту операцию и способствует повышению выхода муки высоких сортов. При мойке зерна отделяется пыль, грязь и микроорганизмы, находящиеся на его поверхности, а также из массы обрабатываемого продукта выделяются примеси, отличающиеся от него гидродинамическими свойствами после сепараторов.

Табл.2.5

**Время отволаживания зерна пшеницы при сортовых помолах**

Стекловидность, %	Продолжительность отволаживания, ч.		
	1 этап	2 этап	3 этап
менее 40 мин	-	-	-
40-60 мин	8 -10	10-12	25-30 минут
более 60 мин	-	-	-

Табл.2.6

**Режимы кондиционирования пшеницы**

Этап отволаживания	Влажность зерна, %	Продолжительность отволаживания, минут .
1	11,0- 12,5	8- 10
2	13,5-14,5	10- 12
3	15,6- 15,8	30
4	15,8-16,0	

Влажность зерна является одним из важных контролируемых параметров и является одним из основных факторов, определяющих возможность длительного хранения без порчи и потерь этих материалов. Всхожесть семенных материалов в большой мере зависит от их влажности в процессе хранения. При переработке зерна от его влажности зависят сопротивление измельчению и, следовательно, удельный расход энергии и производительность мельничного оборудования, а также величина влажности зерна учитывается при сдаче и приемке, так как от нее зависит их чистый вес, т. е. действительная стоимость.

Сегодня, научно-обоснованные решения еще раз подтверждают о том, что техническим базисом повышения эффективности технологии хранения и переработки зерна, организации автоматического контроля, управления,

является автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУ ТП). Первичные измерительные преобразователи (ПИП) влажности являются основным элементом АСУ ТП, который обеспечивают информационную связь с конкретными характеристиками исследуемого объекта, и в большой степени определяют качества и надежность работы измерительного тракта. Как правило, эти приборы имеют состав ПИП и измерительное устройство. АСУТП предоставляет возможность выполнять дистанционные измерения и контролировать показатели с пульта управления. Влажность – один из основных технологических параметров промышленных систем контроля и управления, подлежащих непрерывному или дискретному измерению либо контролю в составе современных АСУТП контактными или бесконтактными методами.

В связи с этим, вопрос внедрения приборного обеспечения в составе комплексной автоматизации зернохранилищ, элеваторов, силосов и других объектов по переработке и хранению зерна и задачи по внедрению АСУ ТП объектах по хранению и переработке зерна являются актуальными.

Анализ проведенных результатов ряда исследователей показывает, что, изменение влажности различных сыпучих дисперсных материалов с вероятностью  $P(x) = 0,9$  происходит от 0,2 до 30%, и большинство технологических требований удовлетворяются измерениями влажности с погрешностью от 0,5% до 1,5%. В связи с этим для получения достоверного результата особое значение имеет определение требований, предъявляемых при проектировании и использовании ПИП в составе АСУТП.

Из анализа исследований, зависимости измерения влажности в функции частоты позволяет сделать ряд выводов:

1. При проектировании первичных измерительных преобразователей для твердых, сыпучих зерно и продуктов и переработки важных для практики высокочастотной влагометрии, анализ функций преобразования первичного измерительного преобразователя, необходимо экспериментальным путем



исследовать зависимости диэлектрических свойств исследуемых материалов от влажности важнейших влияющих факторов.

2. Построение на основе полученных экспериментальных данных электрической модели первичного измерительного преобразователя, с оптимальной аппроксимацией реальных характеристик исследуемых материалов.

3. Реализация полученных данных путем разработки высокочастотных приборов контроля влажности для сыпучих материалов и их испытании в лабораторных и производственных условиях.

4. Проектируемые первичные преобразователи и использования их в составе АСУТП для твердых сыпучих материалов позволяет синтезировать электрическую ёмкостную модель первичного измерительного преобразователя в диапазон частот 10-30 МГц.

#### **2.4. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ КОНТРОЛЯ ВЛАЖНОСТИ ЗЕРНА В УДАЛЁННОМ РЕЖИМЕ, В УСЛОВИЯХ АО “ГАЛЛА-АЛТЕГ”**

Зерно и получаемые из него продукты питания по сравнению с другими продуктами наиболее востребованные и не дорогие. Мировое производство пшеницы в 2020 году, по оценкам «Организации экономического сотрудничества и развития» (ОЭСР), находится на уровне 750,0 млн. тонн. В перспективе последующие 10 лет прирост мирового производства пшеницы замедлится. К 2024 году показатели вырастут по отношению к 2014 году на 7,9% или на 59,7 мл тонн. В мировом масштабе особое внимание уделяется на количествах, но немаловажны и высокосортные зерновые культуры, которые обеспечат качество и количество. Поэтому целесообразно увеличить количество высокосортных качественных зерновых культур на мировом и в республиканском масштабе. Для решения проблемы развития сельского хозяйства необходима всесторонняя интенсификация сельскохозяйственного производства. В Узбекистане производство зерна является одним из наиболее

востребованном продовольственной продукции. В стране производят пшениц порядка 7,5 млн. тонн зерно в год [34].

Табл.2.7

**Объем производства пшеницы в республике Узбекистане**

Период	Валовой сбор (млн.т.)	Урожайность (ц\га)	Гос.закупка (млн. т.)
2018	6.124	67	3.2
2019	7.800	68	3.3
2020	7. 640	71	3.1

Пшеницу выращивают во всех областях республики. Последние пять лет в республике распространение сорта выращивание пшеницы по регионам приведено в таб.2.

Табл. 2.8

**Основные сорта пшеницы выращиваемых по регионам Республики Узбекистан**

Регионы				
Северный регион (Хоразм, К/К)	Южный регион (Сурхондарья, Кашкадарья)	Центральные регионы (Самарқанд, Бухоро, Навойи)	Средние регионы (Ташкент, Сырдарья, Жиззах).	Восточные регионы. (Ферганская долина)
1.Краснодар 99 2. Аср. 3.Яксарт. 4.Зимница. 5.Гром.	1.Гром. 2. Яксарт. 3. Таня. 4.Гозгон. 5.Краснодар99.	1.Краснодар 99. 2. Старшина. 3.Аср. 4Гром. 5.Васса. 6. Жасмина.	1.Кроснодар99. 2.Аср. 3. Таня. 4.Дустлик. 5.Васса. 6.Гром.	1.Таня. 2.Аср. 3.Васса. 4 Краснодар 99. 5.Гром. 6.Нота.

К основным зерносеющим регионам относятся южные (Сурхандарьинский Кашкадарьинские области) и средний регион (Ташкентская, Сырдарьинская, Джизакская область.) Качества пшеницы выращиваемых в республике соответствует ГОСТУ.

Табл.2.9

## Средние показатели качества местных сортов зерна по регионам

Показатели качество	Регионы				
	Северные регионы	Южные регионы	Центральные регионы	Средние регионы	Восточные регионы
Влажность, (%)	12.0-13.0	10.0-13.0	11.2-12.3	12.0-12.5	11.7-13.6
Примесь сорная, (%)	2.4-3.5	2.6-4.8	2.2-4.4	2.8-3.8	3.0-4.0
Примесь зерновая, (%)	7.0-3.0	3.1-7.4	5.3-7.0	4.3-6.0	4.0-7.0
Масса 1000 зёрен, (г)	37.0-42.0	35.0 –42.0	37.0-42.0	35.0-42.0	36.0-42.0
Объёмная масса, (г/л)	750-788	750-768	750-770	748-805	748-770
Стекловидность, (%)	48.0-54.0	48-56	48-53	48-54	46-50
Клейковины (%)	23-25	23-24	23-25	24-26	23-25
Качество ИДК (е.д.ц)	95-100	95-100	85-90	95-100	90-95
Число падения, (с)	180	180	180	180	180
Зольность (%)	1.94-1.96	1.98-2.0	1.96-2.00	1.96 -1.98	1.94-1.96

Табл.2.10

## Физика–механическим свойствам (зерна среднего региона)

Пшеница	Длина, мм	ширина, мм	толщина, мм	плотность, г/см <sup>3</sup>	масса 1000 зерна, гр	насыпная масса, г/м <sup>3</sup>	коэф. внутр. трения	коэф. внешн. трения	скор. витания, м/с <sup>2</sup>	Эквивалент динамик
	6,5 -7,5	3,2- 3,7	2,0- 2,8	1,200 – 1,500	35- 38	748- 805	0,47 – 0,73	0,37- 0,58	9,8– 11,0	3,5 – 3,86

В государственных стандартах на пшеницу установлены ограничительные нормы для заготавливаемой и поставляемой пшеницы. Одним из основных процессов подготовки зерна к помолу, качественно улучшающий его продовольственное использование, является гидротермическая обработка зерна. Применение гидротермические обработки зерна дает комплексный производственный эффект, который включает три группы показателей: технологические, энергетические и экономические. В процессе ГТО зерна на мельницах облегчается отделение оболочек, в драном процессе увеличивается выход крупок. В результате увеличивается выход муки, уменьшается ее зольность, улучшается качество готовый продукции.

При переработке для сортового помола влажность пшеницы, поставляемой на промышленные предприятия, должна быть не более 14,0 %, В изученных пробах пшеницы влажность проб зерна колеблется в пределах нормы. Мукомольных предприятиях республики автоматизированные системы управление процесс отволаживание зачастую не обеспечивают требуемой точности увлажнения в силу своей моральной и физической изношенности, невозможности точного прогнозирования конечной влажности зерна. Поэтому в мукомольной промышленности необходимо модернизировать существующую системы, а также внедрение современных приборов и автоматизации некоторых этапов процесса отволаживание. В настоящее время не существует достоверного и точного метода контроля влажности в процессе отволаживания, в результате чего управлять в существующих методах сложно ориентироваться обслуживающему персоналу.

Время отволаживания определяется на предприятиях путем лабораторных измерений. Это приводит, в частности, к целенаправленной передержке зерна в закромах отволаживания, чтобы процесс перераспределения влаги завершился, что пагубно отражается как на технологических свойствах муки, так и на производительности подготовительного отделения мельницы.

Это в свою очередь, еще раз подтверждает необходимость создания автоматизированной системы управления процессом холодного

кондиционирования, учитывающей исходные гидротермические показатели зерна в закромах отволаживания. Внедрение современных систем автоматизации предприятий по хранению и переработке зерна позволяет качественно подготовить зерно к размолу и оптимально автоматически определять влажность зерна, в процессе отволаживания. Время отволаживания при «холодном» способе кондиционирования должно быть установлено не менее требуемого условиями перераспределения влаги и разрыхления эндосперма, которое, по обзору литературных данных, находится в пределах 8-20 часов, а для зерна пшеницы высоко стекловидных сортов и твердых, еще больше. При определении влажности зерна также технологическом процессе немаловажно учитывать физико-механические качества зерна.

В АО «ГАЛЛА-АЛТЕГ» в основном перерабатывают зерно из средних регионов. С элеватора в зерноочистительное отделение поступает зерно-пшеница стекловидностью до 48-50%, влажностью 10-12%. (Показатели среднегодовые). После очистки сорные примеси подвергается ГТО в двух этапах, увлажнение с суточными отволаживанием 24 часа, а также при необходимости увлажнения перед I драной системой.

Пользуясь отдельными экспериментальными и аналитическими данными отечественной и зарубежной науки и практики, можно допустить в качестве ориентировочных нормативов для первого увлажнения и отволаживания эндосперма для местных сортов. Влажность поступающего зерна  $< 13\%$ , пропускает её через моечную машину. Время отволаживание для местного зерна  $> 24$  часа, размер закрома для отволаживание составляет  $2 \times 2 \times 16$  м. После моечной машины зерно транспортируется в закромах для отволаживание. Первый этап отволаживание продолжится около 12 часов, в это время влажность зерно достигает порядка  $3.0-3.5\%$ , этот показатель больше чем исходного зерна.

Процесс отволаживание проводится статическим способом.

После многолетних исследований для местного зерна на предприятиях целесообразно было бы применить статический способ отволаживание. Это

позволяет регулировать расход воды для второго этапа отволаживания. Преимущество этого метода заключается в том, что вариация влажности зерна в потоке меньше, чем динамический способ. Расход воды после первого отволаживания составляет на 45 тонн около 1200-1400 литров. При динамическом способе расход воды составляет порядка 1800-2000 литров. Результаты исследований показали, что анализ расхода воды можно сэкономить с м<sup>3</sup> на 100 тн зерна.

После 12 часовой отлежки зерно, должно вторично увлажняться, для того чтобы увеличить влажность зерна рекомендуемые показатели должны быть в следующих пределах: для местного зерна не ниже 15,5%, но не выше 16,8%. Между первым и вторым увлажнением систематически проверять влажность зерна лабораторными методами.

Существующие традиционные методы очень трудоёмкие требуют много времени. Для определения влажности зерна традиционно используется сушильный шкаф. Этот способ – энергозатратный и трудоёмкий, поскольку требует значительное время для проведения анализа. В дополнение к самому шкафу для традиционного метода понадобятся ряд лабораторных принадлежностей, в частности, бюксы, эксикатор, аналитические весы. Для технологических процессов этот участок является более ответственным, т.к. нельзя допускать ошибок человеческого фактора, поскольку в дальнейшем невозможно будет исправить допущенные ошибки. Чтобы устранить трудоёмкий процесс, необходимо автоматизировать систему между первым и вторым увлажнением, расхождение вариации устранить можно только при помощи автоматическим методом и использование средств автоматического контроля влажности.

В республике, в большинстве зерноперерабатывающих предприятиях фактически отсутствуют автоматические приборы контроля влажности местного зерна в технологических процессах. Поэтому есть потребность в проведении научных исследований и научно обоснованная преимущества и недостатки

рекомендуемых методов и создания на их основе приборов контроля влажности как в дискретном, так и технологическом режиме для местного зерна.

Применяемые на мукомольных предприятиях технологические процессы и ряд других систем зачастую не обеспечивают требуемой точности увлажнения в силу своей моральной и физической изношенности, невозможности точного прогнозирования конечной влажности зерна, отсутствия контроля динамики изменения влажности зерна в бункерах отволаживания и т.д.

В настоящее время существует методов определения влажности. Однако единого мнения о превосходстве одного из них над другими не сформировано. В связи с этим практически все известные на мировом рынке производители влагомеров в ходе разработки стараются охватить в своём производстве несколько комбинированных методов измерений. Это связано с чрезвычайно большим количеством разнородных материалов, влажность которых необходимо контролировать в различных диапазонах измеряемых значений, с требуемой точностью, быстродействием и конструктивным исполнением удобного для использования.

Ручное регулирование процесса увлажнения в совокупности с лабораторным контролем влажности не позволяют обеспечить подачу на первую драную систему зерна заданной влажности. В результате абсолютная погрешность достигает порядка 2% влажности, что требует постоянной регулировки процесса размола зерна.

Практика и опыт работы показывают, что современные методы измерения влажности зерна измерять экспресс приборами это эффективный и быстрый способ определения влажности в любых условиях в частности:

- полевых (при сборе урожая);
- складских (в зернохранилищах, на зерновых токах и т. д.);
- при транспортировке;
- перед помолом.

Проведённый нами анализ реализуемых влагомеров позволил выделить группу методов, получивших наибольшее распространение для

измерения влажности зерна и зерновых материалов. Среди них можно выделить такие как, кондуктометрический, диэлькометрический, инфракрасные методы анализа спектра в ИК диапазоне, а также метод сверхвысоких частот (СВЧ).

Современные влагомеры для зерна отличаются высокой точностью, компактными размерами и максимальным удобством при эксплуатации.

В настоящее время в республике функционирует порядка свыше пятидесяти современных зерноперерабатывающих комбинатов, общей мощностью переработки до 4,0 млн. тонн зерна.

При этом, необходимо отметить, что в Узбекистане недостаточно использование современных систем контроля качества зерно и зернопродуктов, кроме этого, на рынке отсутствуют приборы и устройства отечественного производства, которые соответствовали бы необходимым требованиям как по цене, так и по точности, надёжности и обеспечивали бы возможность контроля влажности в режиме реального времени.

Однако, во многих случаях большинство предприятий зерноперерабатывающей промышленности по-прежнему использует термогравиметрический метод, т.е. метод высушивания, которые разрабатывались ещё до 1990 годы. Этот метод является стандартным методом, которое имеет свои преимущества, как по точности, так по погрешности (погрешность, находится в пределах  $\pm 0,3\%$ ). Но для оперативного получения результатов, данный метод не может быть использован, а также и для градуировки приборов контроля влажности.

Проведенный анализ литературных источников в области влагометрии еще раз подтвердил о том, что анализ существующих систем самого технологического процесса, еще не в полной мере отвечает требованиям при выпуске конкурентоспособной продукции, и главное как энергосбережение так и энергоэффективности. Для решения вышеперечисленных проблем в системе отволаживания необходимо решить ряд малоизученных, а также недостаточно исследованных задач:



1. Для измерения влажности зерна в процессе отволаживания и управление процессом ГТО, требуется научное обоснования выбора диэлькометрического метода контроля.
2. Провести исследование регулирования расхода воды и режимов отволаживание.
3. Провести сравнение результатов исследований, как в обычном режиме так и в автоматизированной системе контроля влажности в технологических процессе ГТО, что позволяют реализовать стабильность режима для размольного отделения.

4. Научное обоснование о увеличение эффективности использование сырьевых ресурсов, а также оборудование при стабильном режиме работы процесса.

6. Показать качество конечного продукта за счет точного соблюдения технологических параметров при использование новых методов применения приборов в составе АСУТП.

Результаты наших исследований сводится к следующему: разработанный опытный образец измерительный преобразователь влажности поступающего на переработку зерна, к основным преимуществам которого относятся возможность периодической коррекции текущей градуировочной характеристики, а также бесперебойная ее работа в условиях вибрации, позволяющий производить дискретно-непрерывный режим измерения влажности зерна, простота обслуживания и удобство поверки, а также передача данных в режиме реального времени [35]. Подводя итоги можно резюмировать, что применение автоматизированной системы увлажнения с использованием высокоточных измерителей влажности зерна основанные на электрическом диэлькометрическом методе, обеспечивающий оперативный контроль влажностного состояния зерна в бункере отволаживания, что позволяет стабилизировать выходную влажность зерна, следовательно добиться оптимальных помольных свойств партии, что дает существенный экономический эффект и быструю окупаемость затраченных средств.

## 2.5. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ НА ЗЕРНОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Одним из определяющих условий снижения издержек на зерноперерабатывающих предприятиях и повышения экономической эффективности производства в целом является рациональное использование энергетических ресурсов. Одним из основных показателей зерноперерабатывающих предприятий это показатель энергоэффективности – т.е. абсолютная или удельная величина потребления энергетических ресурсов, необходимая для производства продукции установленная регламентирующими документами.

Исходя из изложенного возникает вопрос: как сэкономить электроэнергию на зерноперерабатывающих предприятиях. Рассмотрим данный случай на примере, АО” ГАЛЛА-АЛТЕГ”.

Мукомольно-крупяная промышленность входит в число наиболее социально значимых отраслей агропромышленного комплекса. Ежегодно в мукомольно-крупяной промышленности Республике Узбекистан перерабатывается свыше 6 млн. тн, зерна. Важной задачей, стоящей перед работниками мукомольной промышленности, является повышение качества готовой продукции, с учетом внедрения энергосберегающей технологии. Вопрос рационального использования электроэнергии на предприятии сегодня не менее важен, чем выпуск качественной продукции. Проблема становится актуальной ввиду постоянного роста цен на энергетические ресурсы. Причем интерес к ней проявляется и со стороны государства, и со стороны самих предприятий [36].

На данном мукомольном предприятии основными энергоемкими процессами являются - измельчение зерна и промежуточных продуктов. Расход электроэнергии на технологический процесс надо снижать прежде всего посредством рациональной организации и ведения процесса эксплуатации технологического оборудования, если, где расходы электроэнергии принять за 100 %, то на процесс измельчения приходится не менее 70% от общего расхода.

И здесь факторы, оказывающие влияние на энергопотребление, следует оценивать, как по величине потерь энергии, так как в вопросах энергосбережения, причём давать оценку энергетической эффективности конкретного технологического процесса или технического устройства.

### **Анализ состояние проблемы**

Проанализируем процесс расхода электроэнергии в мельнице, исходные представлены в таблице 2.11.

*Табл. 2.11.*

### **Расход электроэнергии в мельнице**

№	Наименование	Рабочий процесс	Холостой ход
1	Зерноочистительное отделение	22%	13%
2	Дранные вальцы (6 систем)	20%	14%
3	Шлифовка и размол (10-12 пар вальцов)	25%	8%
4	Просеивание на раз севах и буратах (просеивание на буратах 6%)	16%	9%
5	Вейки	6%	6%
6	Трансмиссии	6%	6%
7	Элеваторы и шнеки	5%	4%
Всего:		100%	50%

*Табл. 2.12.*

### **Нормы удельного расхода электроэнергии для мукомольных заводов кВт ч на 1т. муки**

Помол	С механическим транспортом продуктов	С пневматическим транспортом продуктов
Много сортный и 72% мягкой пшеницы	55-65	86- 102
Твердой пшеницы в макаронную муку	60-66	93-102
Одно сортный 85%	48-55	67-77
Обойный	21-24	30-34

Одна из основных задач в настоящее время предприятий перерабатывающей промышленности - экономия электроэнергетических ресурсов. Если расход электроэнергии на производство тонны зерна в республике составляет 2-3 раз выше, чем в Европейских странах, а ее затраты на производство муки превышают их уровень в развитых странах мира в 1,2-1,5, это

еще раз подтверждает, что, результаты анализа процесса производства сортовой муки выявили ряд недостатков, основное внимание уделяли технологическим аспектам и практически не связывали их с используемым оборудованием. Разработка эффективной системы, позволяющей увязать в единое целое все многочисленные процессы и их параметры, определив их взаимное влияние, и нахождение оптимальных режимов производства муки при максимальной производительности оборудования и минимальном расходе электроэнергии, представляет собой важную задачу [37].

Расход электроэнергии мельницами много сортного помола зависит от многих факторов среди которых важнейшими являются: отвлаживание зерно, мукомольные свойства проявляются в процессе переработки зерна в муку и оказывают основное влияние на выход и качество муки, расход электроэнергии на измельчение зерна. Мукомольные свойства определяются следующими показателями: выходом и качеством муки, в том числе муки высоких сортов (высшего и первого), количеством извлеченных крупок и дунстов, степенью вымалываемости оболочек, расходом электроэнергии на выработку 1 т муки, которая зависят от качества и состояния зерна - зольности, стекловидности, влажности, натуры, плотности, крупности и выравненности, массы 1000 зерен, прочности и твердости зерна [38].

Величина расхода энергии определяется особенностью структурно-механических свойств сырья, конструкцией и качеством изготовления технологического оборудования, кроме того техническое состояние мелеющих вальцов, особенностью технологии и видом внутри цехового транспорта зерна, промежуточных и конечных продуктов.

В качестве объекта исследования рассматривается зерно и продуктов её переработки, что используем в технологии муки, крупы как обязательную и высокоэффективную технологическую операцию подготовки зерна к переработке. При этом гидротермическая обработка (ГТО) зерна позволяет получать продукцию заранее обусловленной влажности и обеспечивает более длительные сроки безопасного хранения.

Для снижения расхода электроэнергии необходимо рациональная организация технологического процесса и направленное изменение структурно-механических свойств зерна с помощью гидротермической обработки, при этом технологические процессы необходимо вести при оптимальных удельных нагрузках и режимах. Для выбора метода используем известный метод холодного кондиционирования, при котором проводят увлажнение зерна водой температурой 15...20 °С, а затем его отволаживание - изотермическую выдержку в течение определенного времени. При отволаживании происходит распределение влаги по анатомическим частям зерна, сопровождающееся следующими структурно-механическими и технологическими преобразованиями:

- набуханием с выделением теплоты гидратации;
- разрыхлением эндосперма за счет возрастания удельного объема;
- развитием микротрещин в эндосперме;
- ослаблением связи оболочек и алейронового слоя с крахмальной частью эндосперма за счет разницы в изменении удельных объемов при набухании.

Результаты проведенные совместного исследования ведущими специалистами мукомольном заводе АО “ГАЛЛА-АЛТЕГ” и Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства еще раз подтвердил неэффективность распределение электроэнергии, расход электроэнергии по системам [39], (табл. 3) при мощности мукомольного завода сортового помола пшеницы производительностью 200 т/сут двух секционные, а общая мощность мельницы составляет 400 т/сут.

*Табл.2.13*

**Распределение энергии в мельнице производительностью 200 тн. сут.**

№	Наименование	Расход эл, энергии %
1	Зерноочистительное отделение	18
2	Дранной системе	22.5
3	Шлифовальной системе	11.5
4	Размол в/ст в.т.ч энтолейтори	25
5	Пневмотранспорт	12.0
6	Просеивание+ вымолной процесс	0.64
7	Вейки + аспирация	0.21

8	Вспомогательное оборудование	10.0
Всего:		100

Расход электроэнергии для 200т/сут в течение года (рабочий период 300 дней) достигает 7...8 млн. кВт·ч при пневматическом транспорте зерна и продуктов его размола. Нами также были изучены мощности, затрачиваемые на удельные нагрузки на системы технологического процесса, а также измельчение зерна и промежуточных продуктов.

*Табл.2.14.*

**Распределение энергии по дранные системам в %**

В I системе	В II системе	В III системе	В IVG системе	В IVF ым системе	В V системе
5,7	4,8	4,8	3,9	1,9	1,4

*Табл.2.15.*

**Распределение энергии для измельчение промежуточных продуктов в размольной системе в.т.ч энтолейтори в%**

C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	C-9	Энтолет
4.8	2.6	2.6	1.94	1.94	1.94	1.43	1.43	1.43	4.9

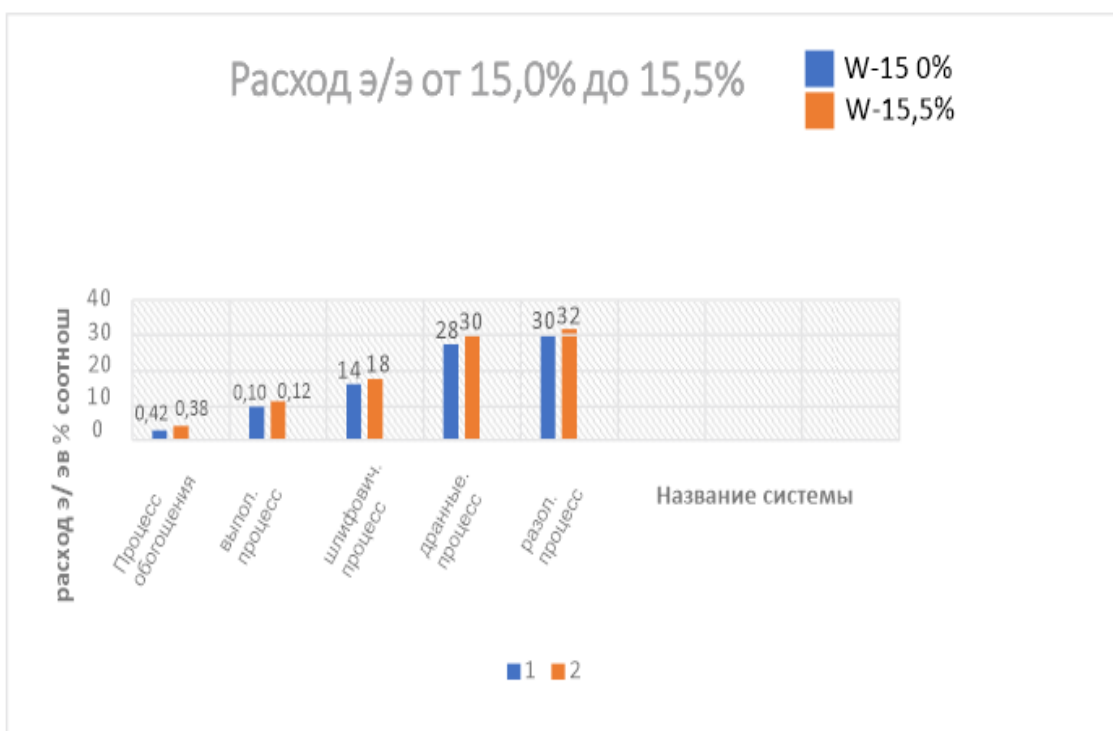
Из анализа распределение энергии видно, что важнейшим направлением развития для предприятия является повышение эффективности производства и экономия всех видов ресурсов. Наряду с увеличением объема производства, одновременно актуальной становится задача снижение энергоемкости процесса производства.

В первую очередь основным направлением деятельности АО “Галла-Алтег” в сфере энергосбережения является внедрение современных высокоэффективных технологий и реализация инновационных энергосберегающих проектов.

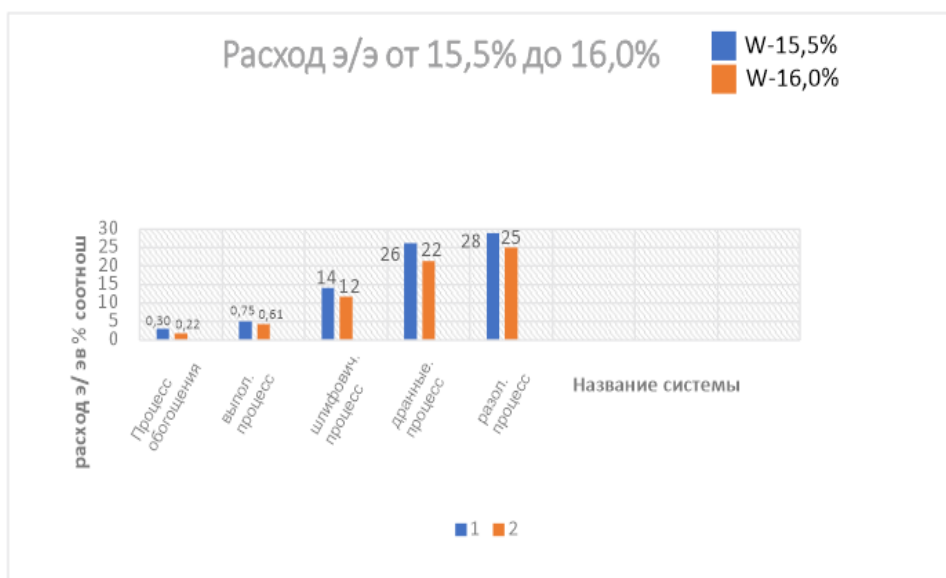
Анализ показывает, что на данном предприятии производстве сортовой муки используется более 13 видов оборудования, общая мощность затрат составляет порядка 95-100%, а нагрузку порядка 70-75%. Удельный расход электроэнергии - один из основных показателей, определяющих

технологические свойства зерна. Результаты наших исследований показывают, что, величина удельного расхода электроэнергии определяется как структурно-механическими свойствами зерно, также зависит от организации процесса измельчения, а также процесса отволаживание.

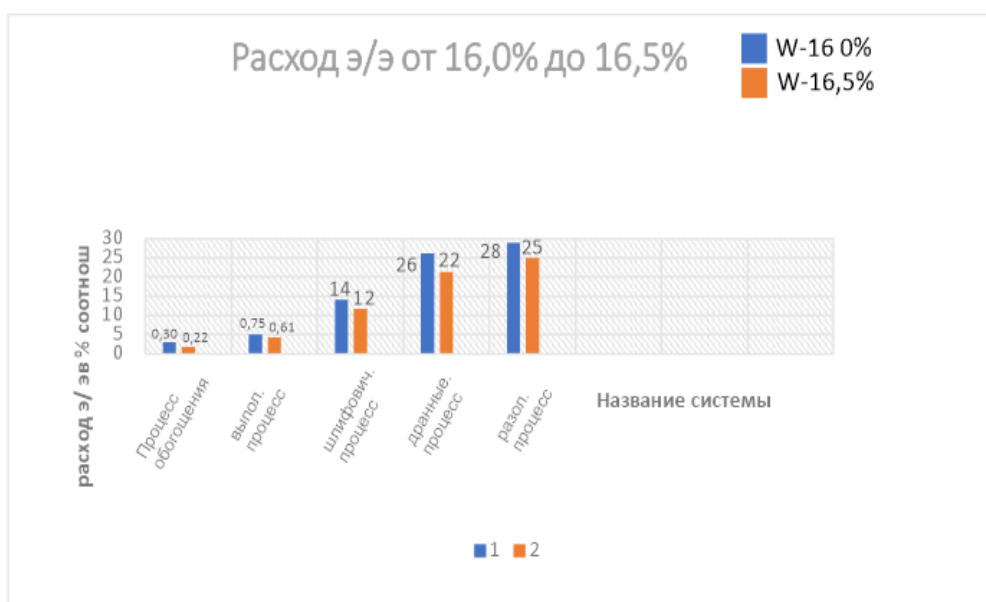
Проанализировав распределение электроэнергии, нами установлено, что весомую часть на производстве, до 90 %, составляет именно расход энергии, а передача её составляет порядка 9-10%. И здесь в первую очередь усилия должны быть направлены на сбережение энергии и уменьшение её потребления. На рис.1, 2, 3, представлено расход электроэнергии и снижение затрат при минимальной, средней и максимальной влажности зерна.



*Рис.2.1. Расход электроэнергии и снижение затрат при минимальной влажности*



*Рис.2.2. Расход электроэнергии и снижение затрат при среднем влажности*



*Рис.2.3. Расход электроэнергии и снижение затрат при максимальной влажности*

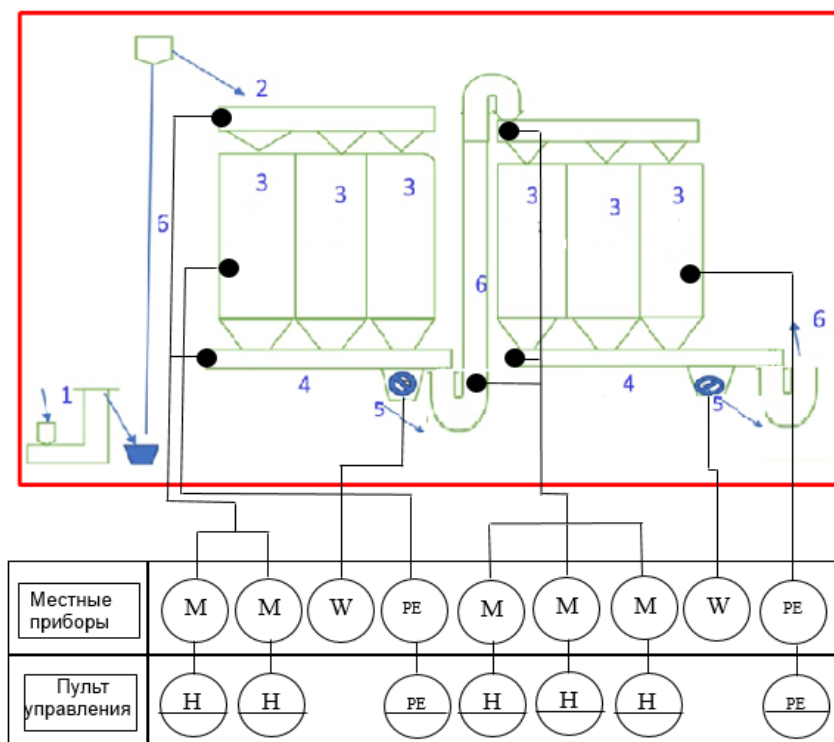
Необходимо отметить что, для специалистов мукомольных заводов, необходимо глубже изучать и продолжать развивать современную технологию мукомольного производства, чтобы сделать её высокоэффективной, компактной, экономичной и простой в обслуживании, а также создавать мукомольное, которые могут сами контролировать и оптимизировать процесс. Для этих целей внедрение систем автоматизации является одним из неотложных задач



производства. Растущее число датчиков и программного обеспечения заменяет ручное управление мукомола и помогает гарантировать, а также обеспечивать постоянный контроль качества.

Значительная часть мельнице АО “ГАЛЛА-АЛТЕГ” обладает резервами, связанными с повышением технического уровня предприятий, с применением нового технологического, весового и дозирующего оборудования, автоматизированных систем управления технологическим процессами и модернизацией энергетического хозяйства предприятий.

Для оснащения и внедрения также произведен анализ приборов и средств автоматизации на основании новых передовых технологий и их стоимости. Внедрение систем автоматизации необходима контролировать параметры технологического процесса при хранении зерна и в производстве муки. Основные энергоемкие участки в мельнице оснащены полуавтоматизированными системами управления. К примеру можно отнести, вальцовом парке мельницы, зазор между валами регулирует ручном способом. Естественно это процесс требует усилие от обслуживающего персонала. Для этих целей рекомендуется следующая схема автоматизации и контроль влажности зерна которая представлена на рис. 2.4.



*Рис. 2.4. Технологическая схема гидротермической обработки зерна и её автоматизация в АО “ГАЛЛА-АЛТЕК”*

- 1 - мойка зерна; 2 - распределительный шнек; 3 - ёмкостной бункер;  
4 - шнек-смеситель; 5 - прибор для контроля влажности;  
6 - шнек-смеситель;*

При использовании автоматизированных систем регулирование зазоров между валами повышается эффективность производственного процесса, снижается количество бракованной продукции, повышается качество, безопасность производимой продукции, а также обеспечивается энергосбережение энергетических ресурсов. На рис.5 представлена устройство контроля влажности зерна между первым и вторым отволаживанием используется влагомер, емкостный первичный преобразователь, представляющий собой выносной датчик металлокерамической конструкции цилиндрической формы из титанового сплава, что позволяет использовать его на ленте конвейера или трубе (шнек) в течение длительного времени без ухудшения его параметров в режиме реального времени.

Благодаря вышеприведенной конструктивной особенности первичного преобразователя возможно использование датчика на ленте конвейера или шнека в течение длительного времени без ухудшения его параметров с минимальной погрешностью измеряемой величины диэлектрической проницаемости, а следовательно величины влажности в пробе образца или объеме пробы на ленте конвейера с передачей информации о влажности в режиме реального времени [35, 40].

Если проанализировать данную систему и регулирование влажности зерна в процессе отволаживание с использование измерительного прибора в составе АСУТП, то можно сделать ряд выводов, в частности, на сегодняшний день в республике функционирует 50 крупных и средних государственных, а также более 100 частные мукомольных предприятий. Высокая конкуренция на рынке муки требует особого внимания к эффективности управления и технологических процессов на мукомольных предприятиях. К сожалению, зерно диктует жесткие

требования к качеству выполнения отдельных функций по регулированию производительности линии.

Гидротермическая обработка позволяет направленно изменять исходные свойства зерна (физико-химические, структурно-механические, биохимические и др.). Благодаря воздействию влаги, температуры, а также отволаживанию снижается, например, стекловидность зерна пшеницы, повышается степень разрыхления эндосперма, под влиянием развивающихся биохимических процессов происходит перераспределение химических веществ по анатомическим частям зерна. При правильно выбранных режимах ГТО пшеницы снижается зольность муки высоких сортов, выход муки увеличивается на 1-2% и больше [41].

Применение энергосберегающей технологий это требованию сегодняшнего дня, что главным приоритетом остается совершенствования автоматического регулирования режимных параметров технологического процесса в сложных разветвленных схемах [42].

Немаловажным фактором можно рассмотреть еще случай, когда расходов энергоресурсов тратиться при контроле влажности зерна, как в период поступления, хранения, также и в процессе отволаживания (увлажнения), особенно контроль влажности сырья перед его обработкой [43].

Если проаннотировать систему гидротермическую обработку зерна то, при ГТО широко используют операции увлажнения и отволаживания зерна.

Анализ литературных источников показывает, что в научных литературах почти нет сведений об особенностях процесса увлажнения зерна указанных культур и расходы электроэнергии на эти нужды, поэтому особенный представляет весьма широкий интерес исследование распределения влаги в зерне при увлажнении. При гидротермической обработке под воздействием изменения влажности и температуры в зерне развиваются сложные процессы физико-химической и биохимической природы. Благодаря им изменяются и технологические свойства зерна в зависимости от его исходных характеристик,

метода, режима гидротермической обработки и других факторов, в результате чего можно добиться хороших индикаторов энергосбережения [44, 45, 46].

Следует отметить, что эти преимущества достигаются только при оптимальных режимах увлажнения и кондиционирования зерна, требующих автоматизации всего процесса гидротермической обработки.

Автоматизация процесса увлажнения зерна приобрела особую важность в современных условиях, когда количество производителей зерна возросло, а размер партий зерна, поставляемого на мельницу, уменьшился. Влажность зерна, поступающего в зерноочистку в течение одной смены, значительно колеблется. Ручное регулирование процесса увлажнения с лабораторным контролем влажности не обеспечивают подачи зерна заданной влажности на первую драную систему [47].

В результате неопределенность или же погрешность достигает больших величин, что требует постоянной регулировки процесса размола зерна. [48].

В связи с этим применение приборов контроля влажности и его работы в составе автоматизации и производственных процессов которые позволят пренебречь излишние потери электроэнергии, и наш взгляд оно является одной из неотложных задач зерноперерабатывающих предприятий Республики Узбекистан [49].

При необходимости (по требованиям органов надзора за эффективным использованием энергоресурсов) подтверждение соответствия показателей энергетической эффективности энергопотребляющей продукции производственно-технического назначения, находящейся в эксплуатации (использовании), значениям, установленным в технической документации, осуществляют методом испытаний продукции (у пользователя) в регламентированных условиях, а также на основе обработки статистических данных по энергопотреблению (энергоэффективности), полученных в ходе эксплуатации продукции, в т.ч. по данным энергетических обследований предприятий (организаций) - потребителей энергоресурсов [50].

Основными энергоемкими процессами являются - измельчение зерна и промежуточных продуктов. Для решения этой проблемы необходимо регулирование системы увлажнения. С этой целью рекомендуется использовать комплекс автоматизированной системы, которая должна состоять из следующих основных блоков: измерения влажности зерна, блок измерения расхода зерна, а также из микропроцессорного устройства контроля и управления. К нему также необходимо отнести блок управления и контроля воды. В результате мы получим систему автоматического контроля и управления, что позволит применить автоматизированную систему увлажнения с использованием высокоточных измерителей влажности зерна, расхода воды и зерна, в целом оно даст возможность стабилизировать выходную влажность зерна.

В свою очередь такой подход к АСУТП позволит рационального использования зерна и повышения эффективности и энергосбережение мукомольного производства, а также получение максимальной прибыли при удовлетворении спроса на продукцию предприятия.

Распределение электроэнергии, приведет к снижению как энергоемкости, так и внутреннего валового продукта.

## **2.6. ПРИБОРНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОНТРОЛЯ ВЛАЖНОСТИ ПРИ ГИДРОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ЗЕРНА И ПРОДУКТОВ ИХ ПЕРЕРАБОТКИ**

Содержание влаги в зерне является решающим экономическим фактором для производства. Влажность в значительной степени влияет на длительность их хранения, а также на качество и стоимость большинства продуктов, причем влажность лежит в основе ряда технологических процессов производства и переработки продукции. В зависимости от стойкости зерна при хранении, а также возможности его переработки в государственных стандартах на зерно установлены четыре состояния по влажности, они находятся в пределах 14–17% и вытекают от форм связи влаги с зерном.

Каждый процент погрешности измерения влажности может привести к искажению данных об учетном количестве производимого продукта. Например, при систематической погрешности измерения влажности зерна только на 0,1% неопределенность в установлении его действительного количества при валовом объеме 100 млн. т.н. составит 100 тысяч т.н. [51].

Существенно влажность влияет на режимы хранения и переработки зерна, содержание влаги в зерне превышающую установленную норму, зерно начинает портиться, в результате полезные вещества в нем уменьшаются. С этой целью технологические процессы переработки зерна предусматривают контроль и регулирование влажности на всех этапах, начиная с заготовки сырья, до складирования и отгрузки готовой продукции.

На ОАО «Г'АЛЛА-АЛТЕГ» Республика Узбекистан, поступают партии зерна пшеницы с различным качеством, каждая партия зерна по своему составу также неоднородна по структуре. Одним из проблемных вопросов на ОАО «Г'АЛЛА-АЛТЕГ», а также предприятиях мукомольной отрасли Республики Узбекистан остаётся отсутствие инструментальных методов определения свойств зерна, что приводит к неполному использованию технологических свойств местных сортов зерна, в результате чего не позволяет устанавливать оптимальные режимы подготовки и измельчения зерна, это в свою очередь требует эффективной работы предприятия в сложившихся рыночных условиях, прежде всего, создания на предприятии повышения эффективности технологических процессов, организации совершенного контроля и управления производством.

Для обеспечения приборами контроля влажности всего цикла переработки зерна по всей технологической цепочке требуется комплексный, системный подход, который рассматривал бы все этапы жизненного цикла зерна как единое целое - от уборки до послеуборочной обработки, хранения и переработки.

Решение этой проблемы требует глубоких теоретических и экспериментальных исследований с целью разработки концептуальных

вопросов теории и практики экспресс – влагометрии в технологических процессах агропромышленного комплекса, создание научно обоснованных принципов построения и реализация современных методов инженерного расчета и аппаратного оформления приборов контроля влажности.

### **Гидротермические свойства зерна**

В процессе переработки зерна из-за избыточной влажности активизируются нежелательные физические и химические процессы, которые приводят к отрицательным результатам. При этом требуется изучение свойств поведения зерна при гидротермической обработке, которая обязательна в технологии муки, крупы и комбикормов для оптимизации технологических свойств.

Гидротермические свойства описывают поведение зерна при гидротермической обработке, которая обязательна в технологии муки, крупы и комбикормов для оптимизации технологических свойств, особенно в диапазоне температурных режимах при гидротермической обработке, чем выше температура, тем интенсивнее поглощение влаги.

Процесс гидротермической обработки зерна характеризует технологической схемой, регламентирующей последовательность, установки соответствующих технических средств совокупностью параметров их работы: степенью и кратностью увлажнения, типом влагоносителя (пар, вода), его температурой или давлением. На рис.1 представлена технологическая схема холодного способа гидротермической обработки зерна.

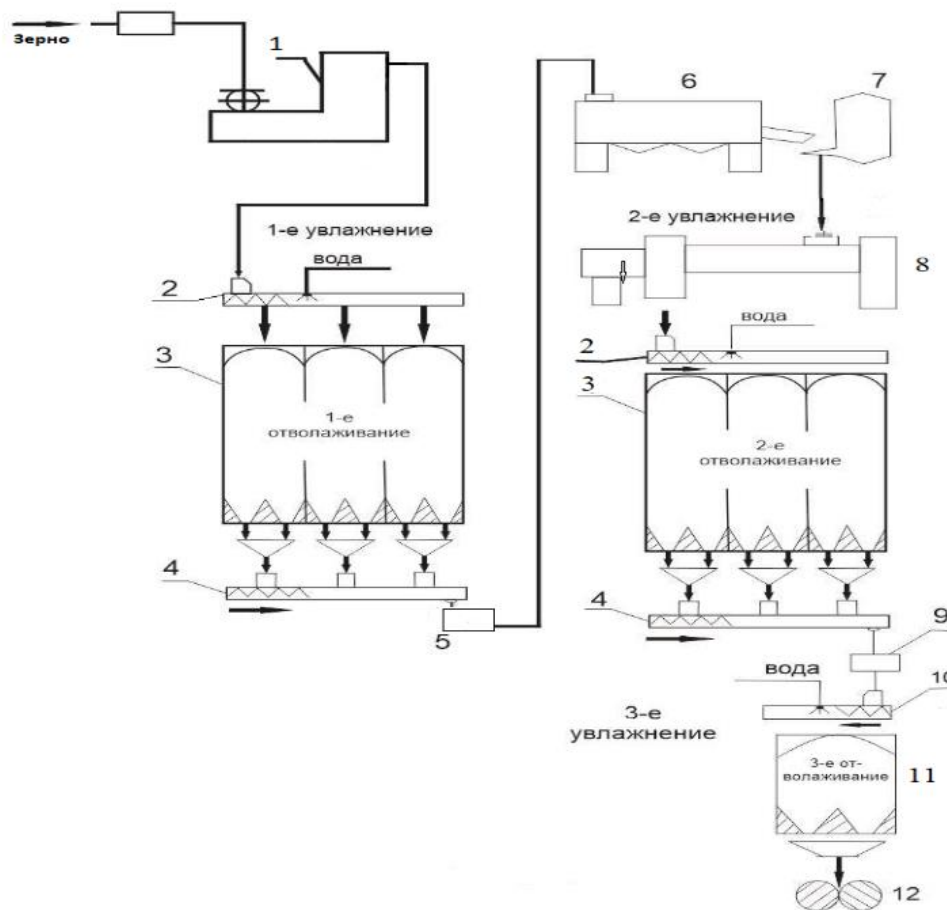


Рис. 2.5. Технологическая схема гидротермической обработки зерна в АО “ГАЛЛА-АЛТЕК”

1 - мойка зерна; 2 - распределительный шнек; 3 - ёмкостной бункер;  
 4 - шнек-смеситель; 5 - прибор для контроля влажности; 6 - горизонтальная обоечная машина; 7 - пневмо-сепарирующий канал; 8-увлажнительный аппарат;  
 9 - весовой дататор; 10- шнек-смеситель; 11- ёмкостной бункер;  
 12- измельчитель;

### Проблемы исследований

Влажность зерна по своей степени различают как: сухое, среднее сухое, влажное и сырое. Влажность зерна (пшеницы) всегда выше среднего. Контроль влажности пшеницы на узлах учета является обязательным, так как любое отклонение от согласованных поставщиком и потребителем спецификаций влечет серьезные штрафы. Поэтому приборы контроля влажности пшеницы на узлах учета должны удовлетворять следующим требованиям:



- быстрый отклик, требующийся избежание добычи большого объема не кондиционного продукта;

- низкая погрешность и воспроизводимость результатов измерений, чтобы гарантировать соблюдение требованиям спецификации товарного зерна.

Исходя из требований потребителя ОАО «Г'АЛЛА-АЛТЕГ», а также других эксплуатационных служб предприятий мукомольной отрасли Республики Узбекистан, к выбору метода и проектирования приборов контроля влажности, необходимо обеспечить высокую точность измерения, а также возможность проведения измерений в непрерывном технологическом потоке, как в малых, так и в больших объемах.

Научное исследование направлена на изучения и анализ проблемы контроля влажности и научных обоснований, связанных с влажностью зерна, анализа существующих методов и средств измерений, обоснование выбора оптимальных вариантов влагометрических устройств, а также разработку средств метрологического обеспечения рассматриваемых приборов.

Целью исследования является дальнейшее совершенствование теории и практики высокочастотной влагометрии, обоснование системной методологии исследования электрофизических параметров зерна как объектов измерения влажности, и создание на этой основе приборов контроля влажности, широкого класса продуктов переработки агропромышленного комплекса.

### **Измерительное оборудование**

Рассматриваемый материал является многокомпонентными, и, кроме того, является неоднородным по своему составу и свойствам. Перечисленные особенности рассматриваемого материала необходимо учитывать при выборе метода измерения и разработке приборов контроля влажности, в частности на определении различных электрических свойств зерновой массы – электропроводности и электроемкости.

Приборы контроля и особенно их датчики как составные элементы автоматических систем должны иметь: высокую надежность и связанное с ней минимальное количество движущихся частей, совершенные динамические

характеристики, взаимозаменяемость, минимальные габариты и вес, а техническая реализация средств измерения влажности зерна в потоке, требует разработки прямых методов измерения. В настоящее время, и последние не менее чем полвека для таких измерений применялись и применяются методы, опирающиеся на изменение физических характеристик зерна при изменении его влажности [52, 53].

Анализ показывает, что, из существующих современных методов измерения влажности указанным требованиям в наибольшей степени большинство специалистов метрологов предпочтение отдают диэлькометрическим, в частности, высокочастотным (ВЧ) и сверхвысокочастотным (СВЧ) методам, основанные на физике свойств зерна в электромагнитных полях высокой частоты (ВЧ), где диапазон частот находится от  $5 \cdot 10^3$  до  $5 \cdot 10^7$  Гц, и сверхвысокой частоты (СВЧ), диапазон частот находится в пределах от  $5 \cdot 10^7$  до  $5 \cdot 10^{10}$  Гц. [54].

Однако, анализ литературных источников показывает, что в настоящее время контроль и регулирование влажности зерна и продуктов переработки практически не автоматизированы из-за отсутствия эффективных приборов контроля влажности зерновых продуктов в технологическом потоке [55].

ВЧ - методы могут быть успешно применены для контроля влажности в потоке из выхода сушильной камеры, что позволяет контролировать качество готовой продукции, но не обеспечивает эффективного управления процессом сушки.

В связи с этим экспериментальные исследования в поле высокой частоты диэлектрических свойств рассматриваемых материалов необходимо решения следующих проблем:

- определение и анализ функции преобразования и функции влияния первичного измерительного высокочастотного преобразователя. Для этого необходимо исследовать экспериментальным путем зависимости диэлектрических свойств исследуемых материалов от влажности и важнейших влияющих факторов;

- построение на основе полученных экспериментальных данных электрические модели первичного преобразователя с материалом, оптимальной аппроксимации реальных характеристик исследуемых материалов;

- на основе полученных данных, разработка специализированных высокочастотных влагомеров для зерна и продуктов их переработки, и испытания этих приборов в лабораторных и производственных условиях.

На рис.2.6 представлена блок-схема высокочастотного влагомера, основанная на диэлькометрическом (высокочастотном) методе измерения влажности зерна при гидротермической обработке в процессе отволаживания.

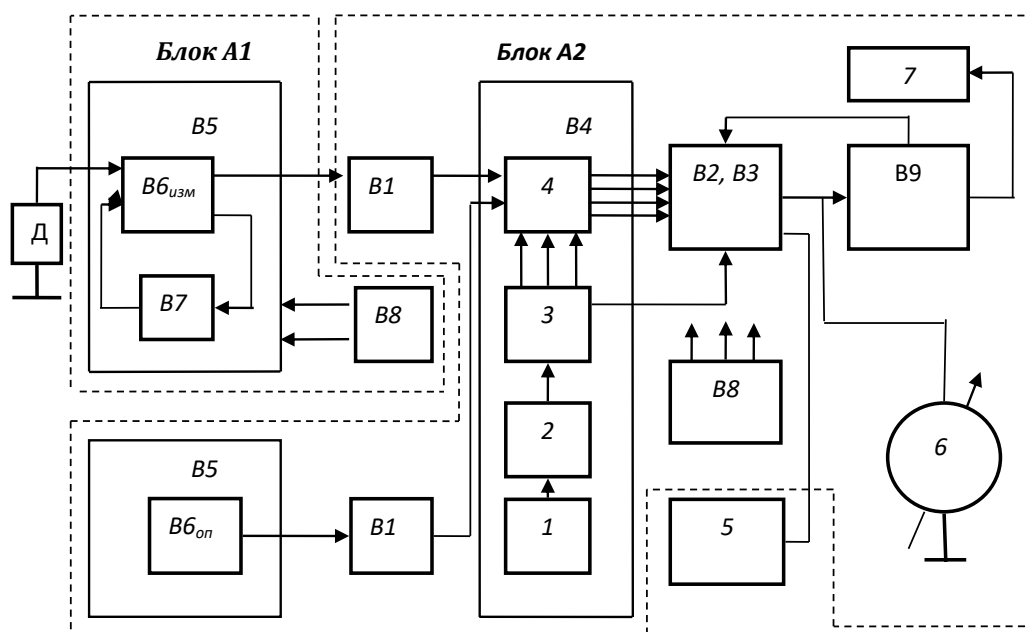


Рис. 2.6. Функциональная схема высокочастотного влагомера для зерна

Высокочастотный влагомер предназначен для измерения влажности мелкодисперсных сыпучих материалов и представляет собой цифровой F-метр циклического действия с поочередной обработкой информации измерительного и опорного каналов. Конструктивно он состоит из датчика и из двух электронных блоков измерительно-преобразовательного тракта.

В связи с этим, особую актуальность приобретает задача разработка научно обоснованной методологии и проектирования измерительных приборов и создание системы контроля влажности на основе технических, структурных и

алгоритмических методов снижения погрешностей в технологических процессах использования ВЧ-метода.

### **Результаты реализации решения задачи**

Достижение поставленной цели предполагает решение следующих конкретных и малоизученных задач исследования в области измерения влажности зерна:

- критический анализ современного состояния теории и практики измерения электрофизических характеристик и выявление тенденций их дальнейшего развития и совершенствования;

- разработка и реализация приборов контроля влажности зерна в соответствии требованиями последнего поколения приборов электрического анализа;

- исследований и выбор метода, а также на её основе реализации универсального прибора, выполняющего несколько функций контроля в т.ч. влажность, температуру.

Для решения перечисленных задач определялись следующие экспериментальные характеристики, описывающие зависимости соответственно действительная ( $\epsilon'$ ) и мнимая часть ( $\epsilon''$ ) диэлектрической проницаемости влагосодержащего материала от влажности и параметров, характеризующих состав и свойства зерна и частоту электрического поля, при этом влажностные характеристики  $\epsilon$  (W) при стабилизации частоты поля, температуры материала, его плотности и других параметров влияющих на диэлектрические свойства. Частотно-влажностные характеристики функций  $\epsilon$  (W) при различных значениях влажности, определяем при  $T = \text{const}$ ,  $\rho = \text{const}$ , и стабилизации других величин, влияющих на диэлектрические свойства.

Изучение влажностных и частотно-влажностных характеристик дает возможность определить функцию преобразования первого звена обобщенной схемы влагомера, т.е. преобразования "влажность-диэлектрические свойства" рассматриваемых материалов в исследуемом диапазоне частот, выбор оптимальной рабочей частоты для разработки схем измерительного преобразователя.

Для создания ВЧ прибора контроля влажности важным является вопрос выбора преобразователя, его принципа действия и конструкции. Изучение влажностных и частотно-влажностных характеристик измерительного преобразователя дает возможность определить функции преобразования схемы высокочастотного прибора в диапазоне от  $5 \cdot 10^3$  до  $5 \cdot 10^7$  Гц частот.

Критически оценивая недостатки проектирования первичных преобразователей, необходимо отметить, что у разработчиков и проектировщиков отсутствует единый подход, как к выбору рабочей частоты, преобразователя так и к методу контроля.

В работах ряда авторов наблюдаются значительной разницей и противоречие в технических данных рассматриваемых приборов. Разброс в значениях результатов экспериментальных исследований и частотном диапазоне свидетельствует о недостаточной изученности этого вопроса и недоработках в методических решениях проведенных исследований [55].

При выборе рабочей частоты и ёмкости первичного преобразователя многие разработчики упускают вопрос о необходимости учета параметров и характеристик контура рабочего генератора. С ростом частоты постепенно и плавно прекращается реализация механизмов относительного более низкочастотных видов поляризации, что сопровождается понижением диэлектрической проницаемости. Частотно-влажностные характеристики рассматриваемого материала свидетельствуют о том, что между диэлектрической проницаемостью и влажностью существует зависимость, на характер которой влияет частота, с ростом частоты чувствительность к влажности уменьшается [56].

Исследованиям первичных измерительных преобразователей и их приборного обеспечения посвящено большое количество работ. Анализ имеющихся работ позволяет сформулировать общие требования к конструктивным формам преобразователей:

1. Обеспечение устойчивости функции преобразования  $C = f(W)$  во времени, т.е. механическую и температурную стабильность собственной ёмкости;
2. Малые габариты и вес;
3. Стойкость против коррозии;
4. Механическую прочность;
5. Технологичность, минимизировать все возможные ручные операции, уйти от трудоемких лабораторных измерений.
6. Возможность их использования без предварительного отмеривания или взвешивания контролируемого материала, которым заполнен датчик.
7. Поле рассеивания в них реально существовал лишь в сравнительно тонкой приэлектродной области, что освободить результаты измерения от влияния полноты сырья и соответственно ни объем, ни вес пробы на результат измерения не влиял.
8. Адаптация под конкретные условия эксплуатации. Стойкий к агрессивным материалам.
9. После изменения состава помольной партии, не проводить новую калибровку датчика влажности для достижения приемлемой точности измерения.
10. Получать на выходе электрический выходной сигнал, как более приспособленный для измерения, усиления, передачи, обработки средствами современной электроники и микропроцессорной техники.
11. Удобная интеграция в АСУТП
12. Поэтапно переходить к проектированию датчиков влажности, не зависящего от свойств исследуемого материала, производить измерение влажности по двум параметрам являющимися функцией влагосодержания.

### **Заключение**

Разработка и выпуск влагомеров представляет собой одну из отраслей аналитического приборостроения. Для неё характерны направления развития,

общие для современного приборостроения: миниатюризация, типовое проектирование на блочно-модульной базе с применением интегральных цифровых и микромодульных аналоговых элементов и главное - унификация и стандартизация средств измерения. Высшей формой унификации и стандартизации в приборостроении, основанной на системном подходе, является разработка агрегатных комплексов, в частности агрегатного комплекса средств аналитической техники, который охватывает и средства измерения влажности.

Имеется ряд приборов контроля влажности рассматриваемых материалов, однако они, так же, как и лабораторные методы анализа влажности, могут лишь констатировать влажность исследуемых масс. Информация, получаемая из вышеперечисленных приборов, не могут быть рекомендованы в управлении технологическим процессом в режиме реального времени. Обзор литературных источников [57, 58, 59] еще раз подтверждает о том, что все рассмотренные приборы имеют вышеперечисленные недостатки.

Исследованиям емкостных преобразователей посвящено большое количество работ, из которых следует отметить работы Е.С. Кричевского, П.Р. Исмагуллаева, и обстоятельную работу И.Г. Матиса [60].

Анализ этих работ позволяет нам осуществлять дальнейшее развитие теории и практики ВЧ влагометрии и сформулировать основные принципы создания приборов для измерения влажности продуктов и технологических сред агропромышленного комплекса.

На основе наших исследований синтезирован опытный образец прибора для контроля влажности зерна при гидротехнической обработке в технологическом процессе, с электрической моделью первичного измерительного преобразователя, и измерительные схемы обеспечивающую приемлемую аппроксимацию реальных частотно-влажностных характеристик в диапазоне высоких частот.

Сопоставляя технические характеристики данного прибора с техническими характеристиками ряда производителей, например, ООО «РусАвтоматизация» он может конкурировать на рынке с основными

разработчиками аналогичных приборов и обеспечить эффективность ведения технологических процессов при работе с зерном, повысить качество, безопасность и конкурентоспособность продукции.

Метрологические характеристики производим в соответствие указанной методикой в [61].

Опытный модель прибора доступен при эксплуатации и измерения влажности, как в полевых, так и в лабораторных условиях, со следующими метрологическими характеристиками.

1. **Диапазон измерения влажности.** Учитывая, что на предприятие поступает свежесобранное зерно и его влажность находится в пределах 14-17,5%, до обработки его влажность понижают до 8...12%, то для этого случая диапазон измерений можно выбрать в пределах 8...18,5%;
2. **Погрешность измерения:**  
для поточных измерений не должна превышать 1%;  
для дискретных измерений до 1,5%;
3. **Скорость измерения.** При скорости движения зерна и потоке интервал измерения от 0,5 ... 1,0 с.
4. **Диапазон рабочей температуры**  $\pm 5 \dots +50 \text{ }^{\circ}\text{C}$
5. **Рабочий режим:** дискретно-непрерывный
6. **Компенсация влияния температур.** Установленный терморезистор рассчитан на температуру до 60  $^{\circ}\text{C}$ .
7. **Типы выходных интерфейсов:** (4...20мА, MODBUS RTU) должны подключаться к системам АСУ.

Данную технологию можно успешно адаптировать для определения содержания воды, влажной массы как в зерне, так и в различных сельскохозяйственных продуктах.



## 2.7. КОНТРОЛЬ ВЛАЖНОСТИ ЗЕРНА И ПРОДУКТОВ ИХ ПЕРЕРАБОТКИ НА ОСНОВЕ СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОГО МЕТОДА

В данном разделе рассмотрена возможность реализации другого варианта метода основанного СВЧ методе для контроля влажности зерна при гидротермической обработке при отволаживание в условиях ОАО «Галла-Алтег», а также для аналогичных агропромышленных продуктов, позволяющий применить для управления технологическими процессами в зерноперерабатывающих отраслях промышленности, для контроля материалов в свободном пространстве, преобразуя параметры прошедшей через материал волны в электрический сигнал.

Применение этого метода рассматривается, случай перехода от высокочастотного (ВЧ) к диапазону сверхвысокочастотного (СВЧ) метода контроля влажности. Для этого варианта предложена функциональная схема разработанного влагомера, на основе предложенного метода, определены его электродинамические характеристики. Получены экспериментальные данные для проб зерна так и для хлопковых семян с заданными значениями влажности.

Предложен метод измерения влажности зерна в поточном производстве, позволяющий снизить составляющие погрешности измерения, обусловленные неравномерностью распределения влаги в зерне, неоднородностью материала по плотности и температуре.

Сверхвысокочастотные (СВЧ) влагомеры используют значительное различие диэлектрических свойств воды и сухого материала. Количество влаги измеряют по ослаблению СВЧ-излучения, проходящего через слой исследуемого материала. В таких влагомерах исследуемый объект находится между передающей и приемной антеннами. Передающая антенна соединена с СВЧ-генератором, приемная — с измерительным устройством. Чем больше влажность анализируемого материала, тем меньше сигнал, попадающий в измерительное устройство. Возможности СВЧ-влагомеров измерить влажность в широком диапазоне от 0 до 100 % с более высокой точностью.

Основой этого метода является зависимость затухания СВЧ - энергии от влажности.

Различают амплитудный и фазовый метод измерения влажности. Отличительные особенности этих методов заключается в следующем: Амплитудный метод позволяют получать высокую точность определения влажности при условии стабилизации или учета температуры и сортности материала. Фазовый метод измерения влажности, зависимость сдвига фазы СВЧ волны от влажности материала является основной.

Рассмотрим на примере контроля влажности твердых, сыпучих материалов данный метод СВЧ. В качестве объекта измерения примем, хлопковые семена, зерно - пшеница.

В диапазоне СВЧ первичные измерительные преобразователи представляют собой электромагнитные системы с распределенными параметрами и, хотя в основе функционирования СВЧ-влажномеров лежит диэлькометрический метод, принципы их построения и функционирования существенно отличаются от принципов построения и действия от других аналоговых методов, таких как высокочастотных влагомеров диапазона длинных, средних и коротких волн, у которых первичные преобразователи можно рассматривать как системы с сосредоточенными параметрами.

Высокочастотный (ВЧ) нами был исследован для ряда, аналогичных продуктов агропромышленного сектора, таких как: зерно, семена, рис, кукуруза, ячмень и т.п. Полученные результаты на основе ВЧ-метода были построены приборы контроля влажности и прошли как лабораторные, так и в производственных испытания в заводских условиях.

Переход к от ВЧ к диапазону СВЧ вызван стремлением улучшить характеристики диэлькометрических влагомеров, в частности, повысить их точность, в результате уменьшения погрешностей от влияния химического состава и других неинформативных параметров материала на результат измерения влажности.

Известно, [62] что электромагнитные волны проходят через весь слой материала, благодаря чему можно измерить влажность, усредненную по всему объему материала.

Контроль влажности зерна, перемещаемых по транспортеру, можно измерять по принципу нахождение электромагнитной волны при дистанционном расположении антенн. Измеряемую влажность несут характеристики мощность, прошедшей через зерно продукты электромагнитной волны, которые сравниваются с аналогичными характеристиками зондирующей волны. Большую область взаимодействия с зерноматериалом в потоке и, следовательно, большую чувствительность обеспечивают резонаторные датчики.

Сбор информации ведется с охватом всего сечения потока измеряемой среды на измерительном участке, т. е. имеет место усреднение характеристик принимаемой волны.

Выбор СВЧ- метода обосновывается из следующих соображений: измерение является бесконтактным и в больших объемах, при этом у прибора хорошие метрологические характеристики. Очень быстрые результаты, которые подходят для измерений в технологических линиях, высокая точность результатов, измерение не зависит от плотности продукта или нагрузки продукта, нет воздействия оптических факторов на измерение, таких как изменение цвета, структуры поверхности продукта, измерение влажности на поверхности продукта и в центре, неразрушающий метод измерения, нет расходуемых материалов, таких как реагенты и т.п., приборы не требуют обслуживания и легки в использовании.

По методике приведенной в [63] и в соответствии с рекомендациями [64] нами разработан СВЧ-влажномер [65, 66, 67] предназначенный для использования в системах контроля технологическими процессами зерна по влажности в производственных условиях. На рис.1. представлена функциональная схема и принцип работы СВЧ-влажномера.

Достоинство СВЧ-метода является незначительная чувствительность к физико-механическим свойствам исследуемых веществ и материалов, что позволяет анализировать среды с большими активными потерями.

Также заметное преимущество в точности СВЧ метода перед ВЧ методом сохраняется. Однако реализация СВЧ влагомеров существенно более сложная по сравнению с ВЧ влагомерами, т.к. генерировать сверхвысокочастотное электрическое поле достаточной мощности гораздо сложнее, чем поле ВЧ. Метод, основанный на физике свойств в электромагнитных полях сверхвысокой частоты (СВЧ), равен диапазону частот от  $5 \cdot 10^7$  до  $5 \cdot 10^{10}$  Гц. [8].

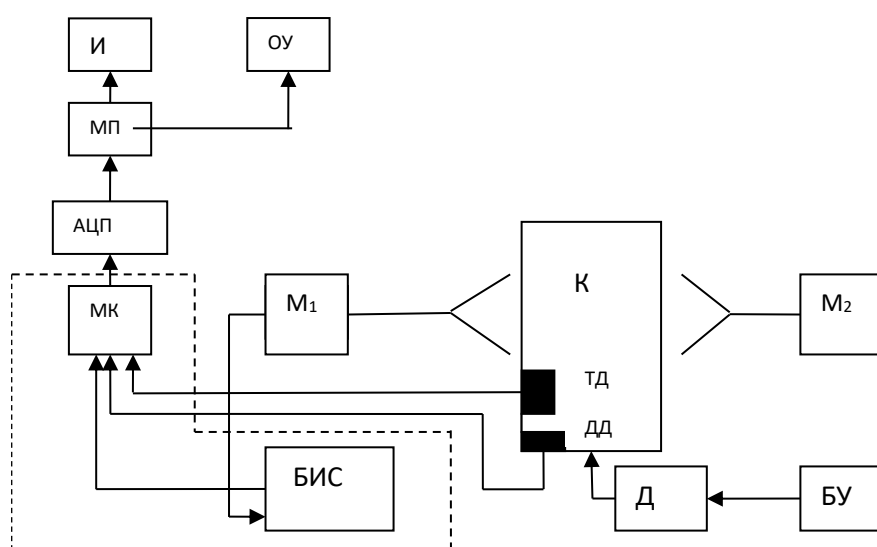


Рис.2.7. Структурная схема СВЧ-влагомера

Влагомер построен по блочно-модульному принципу. Кювету (К) с образцом вращает вокруг вертикальной оси шаговый двигатель (Д), который управляется блоком управления (БУ). Сигналы с  $M_1$  и  $M_2$  (СВЧ модули) и датчиков температуры (ДТ) и давления (ДД) поступают на базовую измерительную схему (БИС), здесь сигналы ослабления, фазового сдвига СВЧ волны, температуры и давления образца формируются на стандартные сигналы для сопряжения с микроконтроллером (МК), с которого сигнал, соответствующий измеряемой величине подается на аналого-цифровой преобразователь (АЦП).

Микропроцессор (МП) выполняет все вычислительные операции. После вычисления полинома определяется влажность материала и в цифровом виде выводится на индикатор (И) и подается на регулирование объекта управления (ОУ).

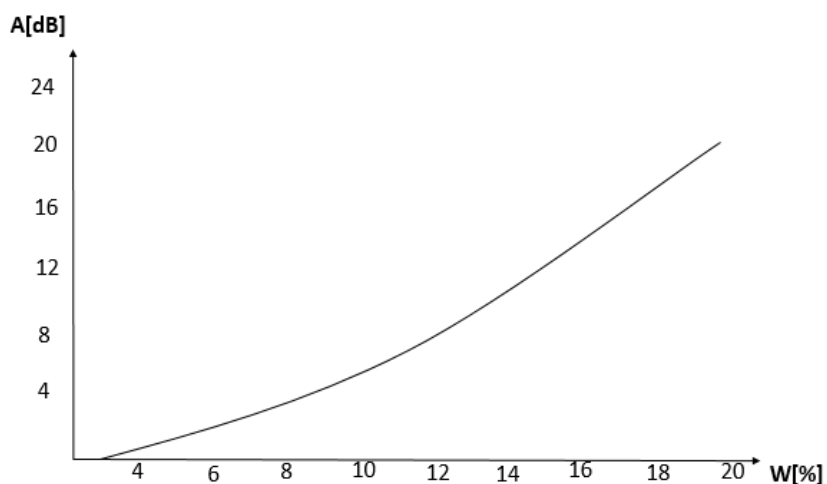
Из методов измерения влажности, применяемых в промышленности, только высокочастотная влагометрия может конкурировать по широте использования с СВЧ-методом [68]. Преимуществами СВЧ-влагометрии являются: возможность бесконтактного измерения, относительная простота и дешевизна аппаратуры, а в ряде случаев и хорошие метрологические характеристики. Различие высокочастотных и СВЧ-методов вызвано как соизмеримостью длины волны с минимальными характеристическими размерами объекта, так и особенностью поведения связанной воды в гигагерцевом диапазоне [69]. Таким образом, как это видно из настоящего анализа, посвященного исследованию измерения влажности зерновых материалов, а также на основе исследований [70, 71, 72], наиболее перспективным для твердых сыпучих дисперсных зерна и зерновых культур является метод СВЧ.

На рис.2 приведен график зависимости полученные экспериментальным путем, для хлопковых семенах, с параметрами: влажностные характеристики на образцах хлопковых семян третьего сорта, средневолокнистой разновидности, опушенностью 11%, и засоренностью 5%, при влажности 8,7%, всего было подготовлено и испытано 38 образцов влажностью от 3,5 до 20,3% и плотностью – 367,3 кг/м<sup>3</sup>. После проверки однородности дисперсий, были рассчитаны значения дисперсия воспроизводимости, которых равны:

$$\sigma_A^2 = 0,14 \text{ дБ}^2.$$

Обработка результатов экспериментов показала, что влажностные характеристики семян адекватно описываются полиномами 2-й степени

$$A = 0,55W^2 - 0,116 + 1,742 \text{ дБ}.$$



*Рис.2.8. График зависимости ослабления СВЧ энергии от влажности хлопковых семян.*

Исследование влияние неинформативных параметров проведено на рассматриваемых материалах, так как они наиболее сложны по своей структуре и как объект измерения представляет наибольший интерес отличаясь от других продуктов АПК некоторыми специфическими свойствами, где плотность образцов изменялось в пределах  $340, \text{ кг/м}^3 - 420,0 \text{ кг/м}^3$ , а температура от  $10$  до  $50^\circ\text{C}$ , что охватывает весь диапазон возможных изменений плотности и температуры в реальных условиях. Зависимости ослабления от плотности описывается уравнением первой степени, а температура также оказалось линейной в выбранном диапазоне влажности температур, что подтверждают теоретические соображения по линейности зависимости ослабления, результаты фазового ослабления в данной статье не приводятся.

Для связи влагомера с ЭВМ более высокой иерархии предусмотрен интерфейс внешних устройств. Использование современной элементной базы и микропроцессорной техники способствовало улучшению метрологических характеристик влагомера и расширение области его применения.

Уравнение при доверительной вероятности  $0,95$  адекватно описывают результаты эксперимента. Влагомер может работать как в автономном режиме, так и в составе АСУТП [73].

На основе литературного анализа многих авторов в области СВЧ влагометрии [74, 75, 76, 77, 78, 79] рекомендуют проводить исследование и измерять исследуемые материалы при температуре 365...375 К, чтобы расширить применимость метода в области малых влагосодержаний, а выбор рабочей частоты представляет собой компромиссное решение, переход к более коротким волнам повышает чувствительность влагомера; однако при этом уменьшается площадь исследуемого образца увеличиваются сложность и стоимость аппаратуры; использование более длинных волн ухудшает метрологические свойства влагомера (чувствительность, погрешность от изменений состава материала), увеличивает массу и габариты прибора.

Проведенный нами анализ методов контроля влажности позволил выявить основные преимущества и сделать следующие выводы.

### **Выводы**

Проведенный анализ физико-химических процессов взаимодействия влаги с исследуемым материалом, существующих технологических процессов сушки и методов контроля влажности привел к выводу, что наибольшими функциональными возможностями обладает диэлькометрический метод контроля, который может быть реализован различными вариантами устройств с цифровой обработкой информации.

При разработке такого прибора ставилось цель применения его в полевых условиях, при сборе урожая различных твердых, сыпучих продуктов аграрного сектора. Апробация и результаты данного прибора позволят нам реализовать ее в качестве пилотного макета и разработки на ее основе прибора с программным обеспечением, основанного на амплитудном СВЧ-методе [80].

Создание на основе этого метода СВЧ влагомеров, способных работать в сложных условиях, где контроль и регулирование влажности необходимо обеспечить на всех этапах, начиная с заготовки сырья, до складирования и отгрузки готовой продукции является одной из актуальных задач в области влагометрии. Проведенные исследования показали, что зависимости диэлектрических свойств зерна и зерновых культур от их влажности в СВЧ

диапазоне имеет одинаковый вид и очень близки между собой. Указанные обстоятельства позволяют на базе построенного прибора создать универсальный СВЧ влагомер для продуктов АПК.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Содержание влаги в зерне является решающим экономическим фактором для производства. Влажность в значительной степени влияет на обрабатываемость материалов, длительность их хранения, а также на качество и стоимость большинства продуктов, причем влажность лежит в основе ряда технологических процессов производства и переработки продукции. Каждый процент погрешности измерения влажности может привести к искажению данных об учетном количестве производимого продукта.

Рассмотренные в данной монографии материалы, в частности гидротермические свойства зерна и описываются её поведение при холодной и влаготепловой обработке, для оптимизации технологических свойств муки, крупы и комбикормов, влияние влажности на режимы хранения и переработки зерна и зернопродуктов.

Содержание влаги в зерне, что превышающее установленную норму, в результате чего зерно начинает быстро портиться, а количество полезных веществ в нем резко уменьшается. В связи с этим рекомендуется управление технологическими процессами переработки зерна, предусматривающее контроль и регулирование влажности на всех этапах, начиная с заготовки сырья, до складирования и отгрузки готовой продукции.

Для достижения цели предлагается изучение, научно обоснование, и принятие решение конкретных и малоизученных задач исследования в области измерения технологических параметров зерна.

Анализируются предъявляемые требования к выборам метода и проектирования приборного обеспечения контроля влажности зерна, а также их высокой точности измерения, возможность проведения измерений в непрерывном технологическом потоке, где предметом исследования должно



являться проведение теоретических и экспериментальных исследований, основанных на использовании высокочастотных или сверхвысокочастотных методов и их аппаратного обеспечения предназначенных для контроля влажности зерна в технологических процессах.

Даны рекомендации по разработке номенклатуры нормируемых метрологических характеристик измерительных приборов, и обоснование методики их экспериментальной оценки, а также мероприятий направленных на обеспечение единства измерений и поверочные схемы для разрабатываемых приборов и методов контроля для продуктов обогащения, а также требования к метрологическим характеристикам приборам контроля влажности зерна.

Исходя из анализа применения основного существующего прямого термогравиметрического метода при измерении влажности сырья и продуктов АПК выявил ряд погрешностей. Из-за малого веса проб применение термогравиметрического метода по стандартной методике при контроле больших объёмов материала приводит к погрешности более установленных. Поэтому результаты, полученные при термогравиметрическом определении массовой доли влаги, часто недостоверны и не могут использоваться для градуировки экспрессных приборов контроля влажности. Погрешности разного рода приводят к снижению достоверности первичной информации об исследуемых материалах, что обуславливает некорректные управляющие воздействия на технологический процесс, тем самым вызывая снижение показателей эффективности автоматизированного контроля и управления. Следовательно, учитывая специфику продуктов АПК, необходимо разработать более точные методы анализа и, соответственно, новые способы проектирования приборов для измерения влажности.

Основными энергоёмкими процессами являются - измельчение зерна и промежуточных продуктов. Для решения этой проблемы необходимо регулирование системы увлажнения. С этой целью рекомендуется использовать комплекс автоматизированной системы, которая должна состоять из следующих основных блоков: измерения влажности зерна, блок измерения расхода зерна, а

также из микропроцессорного устройства контроля и управления. К нему также необходимо отнести блок управления и контроля воды. В результате мы получим систему автоматического контроля и управления, что позволит применить автоматизированную систему увлажнения с использованием высокоточных измерителей влажности зерна, расхода воды и зерна, в целом оно даст возможность стабилизировать выходную влажность зерна.

В свою очередь такой подход к АСУТП позволит рационального использования зерна и повышения эффективности и энергосбережение мукомольного производства, а также получение максимальной прибыли при удовлетворении спроса на продукцию предприятия.

Распределение электроэнергии, приведет к снижению как энергоемкости, так и внутреннего валового продукта.

Разработка и выпуск влагомеров представляет собой одну из отраслей аналитического приборостроения. Для неё характерны направления развития, общие для современного приборостроения: миниатюризация, типовое проектирование на блочно-модульной базе с применением интегральных цифровых и микромодульных аналоговых элементов и главное — унификация и стандартизация средств измерения. Высшей формой унификации и стандартизации в приборостроении, основанной на системном подходе, является разработка агрегатных комплексов, в частности агрегатного комплекса средств аналитической техники, который охватывает и средства измерения влажности.

Проведенный анализ физико-химических процессов взаимодействия влаги с исследуемым материалом, существующих технологических процессов сушки и методов контроля влажности привел к выводу, что наибольшими функциональными возможностями обладает диэлькометрический метод контроля, который может быть реализован различными вариантами устройств с цифровой обработкой информации.

Из существующих современных методов измерения влажности указанным требованиям в наибольшей степени большинство специалистов метрологов предпочтение отдают диэлькометрическим, в частности, высокочастотным (ВЧ)

и сверхвысокочастотным (СВЧ) методам, основанные на физике свойств зерна в электромагнитных полях высокой частоты (ВЧ), диапазон частот от  $5 \cdot 10^3$  до  $5 \cdot 10^7$  Гц и сверхвысокой частоты (СВЧ), диапазон частот от  $5 \cdot 10^7$  до  $5 \cdot 10^{10}$  Гц. .

Создание на основе этого метод ВЧ или СВЧ влагомеров, способных работать в сложных условиях, где контроль и регулирование влажности необходимо обеспечить на всех этапах, начиная с заготовки сырья, до складирования и отгрузки готовой продукции является одной из актуальных задач во области влагометрии.

Анализируя состояние гидротермической обработки зерна в промышленных условиях предъявляет определенные требования к выборам метода и проектирования приборного обеспечения контроля влажности зерна, а также их высокой точности измерения, возможность проведения измерений в непрерывном технологическом потоке, где предметом исследования должно являться проведение теоретических и экспериментальных исследований, основанных на использовании высокочастотных или сверхвысокочастотных методов и их аппаратного обеспечения предназначенных для контроля влажности зерна в технологических процессах.

Необходимо разработать рекомендации по номенклатуре нормируемых метрологических характеристик измерительных приборов, и обоснование методики их экспериментальной оценки, а также мероприятий направленных на обеспечение единства измерений и поверочные схемы для разрабатываемых приборов и методов контроля для продуктов обогащения, а также требования к метрологическим характеристикам приборам контроля влажности зерна.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гидротермическая обработка зерна риса.  
<https://hipzmag.com/tehnologii/pererabotka/gidrotermicheskaya-obrabotka-zerna-risa/> (дата обращения: 14.11.2021).
2. Подгорный, Сергей Александрович. Автоматизация контроля и управления холодным кондиционированием зерна перед помолом. Автореф.дис ..... канд.техн.наук. Специальность 05.13.06 - Автоматизация технологических процессов. Краснодар. 2005. 24 с.

3. Асмаев М. П., Марков Ю. Ф., Подгорный С. А. Устройства дозирования воды как элемент системы автоматического контроля увлажнения зерна перед помолом // Известия вузов. Пищевая технология и производств (промышленность) №1-2,2005.
4. Жабборова Д.Р., Мажидов К.Х., Хужакулова Н.Ф. Влияние гидротермической обработки на биохимические свойства зерна пшеницы // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2020. № 7 (76). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/9993> (дата обращения: 14.11.2021).
5. Козьмина Н.П., Гунькин В.А., Сусянок Г.М. Теоретические основы прогрессивных технологий (Биотехнология). Зерноведение (с основами биохимии растений). М.: Колос, 2006. – 464 с.
6. Казаков Е.Д., Карпиленко Г.П. Биохимия зерна и хлебопродуктов. – СПб.: ГИОРД, 2005. – 512 с.
7. Кулак В. Г., Максимчук Б.М. Технология производства муки. М.: Агропромиздат. 1991. 224 с.
8. Перекрест, Ф.О. Интенсификация насыщения зерна влагой / Ф.О. Перекрест, И.Н. Краснов // Вестник аграрной науки Дона. - Зерноград: ФГБОУ ВПО АЧГАА, 2012. № 1(№ 17).
9. ГОСТ 9353 – 90. Пшеница. Требования при заготовках и поставках. – М.: Госстандарт, 1997.
10. Тарасенко, А.П. Совершенствование технологии получения качественных семян и продовольственного зерна/А.П. Тарасенко, В.И. Орбинский, М.Э. Мерчалова, Н.Н. Сорокин//Лесотехнический журнал. 2014. т.4. №3(15). С. 36-40.
11. Оспанов, А. Моделирование процесса увлажнения зерна при гидротермической обработке/ А. Оспанов, А. Румянцев, Н. Борзов// Хлебопродукты. 2008. №4. С.35.
12. Андреева, В.Е. Структурная идентификация и моделирование тепло- и влагообменных процессов при отволаживании зерна/В.Е. Андреева// Пищевая и перерабатывающая промышленность.2006. №2. С.129-135.
13. Беркутова, Н.С., Технологические свойства зерна пшеницы/Н.С. Беркутова, Н.Давыдов и др. // Хлебопродукты. 2006. -№8. С.42-44.
14. Kalandarov P.I., Mukimov Z.M., Logunova O.S Analysis of hydrothermal features of grain and instrument desulphurization of moisture control //Technical Science and Innovation. 2020. № 1. PP.117-123.
15. С.Ю. Бузоверов. Г.А. Антишина. Влияние гидротермической обработки на качество зерно пшеницы. // Вестник Алтайского государственного аграрного университета №10 (72), 2010, С.83-86.

16. Сидельникова Н.А. Мониторинг технологических свойств зерновых культур // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2-2. С.27-32;
17. Нечаев В.И., Рыбалкин Л.П. Резервы увеличения производства зерна и повышение его эффективности: Региональный аспект. М.: Агрипресс, 2010. 284 с.
18. Каландаров П.И., Мукимов З.М. Приборное обеспечение контроля влажности при гидротермической обработке зерна и продуктов его переработки. Приборы. 2020. №11. С.16-21.
19. Каландаров П.И. Матякубова П.М. Газиева Р.Т. Сушка и контроль влажности зерна и зернистых материалов. Ташкент: ТИИИМСХ. 2020. 179 с.
20. Каландаров П.И., Макаров А.М., Аралов Г.М. Особенности измерения влажности зерновых культур в полевых условиях // Известия ВолгГТУ. 2021. №1(248). С.60-63.
21. Каландаров П. И., Искандаров Б. П. Измерения влажности бурого угля Ангренского месторождения и проблемы метрологического обеспечения // Измерительная техника. 2012. № 7. С. 70–72.
22. Искандаров Б. П., Каландаров П.И. Анализ влияния факторов на результаты измерений влажности материала на высоких частотах. // Измерительная техника. 2013. № 7. С.64-67.
23. Kalandarov P. I., Mukimov Z. M., Abdullaev X.H., Yusupov N. O. Metrological support of moisture measurements of agricultural materials. International Journal of Aquatic Science. Vol 12, Issue 02, 2021.pp. 4870-4875.
24. Kalandarov P.I, Mukimov Z.M., Logunova O.S. Design of grain humidity control devices for milles. TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY NAMED AFTER ISLAM KARIMOV. TECHNICAL SCIENCE AND INNOVATION. №2/2021. PP. 227-233. DOI:10.6084 / m9.figshare.16416549
25. П.И. Каландаров, Н.Э. Авезов. Исследование технологического процесса сушки и приборного обеспечения контроля влажности зерна. // Вестник ТашГТУ, №1.2018. с. 128-132.
26. Kalandarov P.I., Mukimov Z. M., Olimov O.N. Of Devices For Monitoring The Humidity Of Materials Based On Capacitive Converters. International Journal of Aquatic Science. Vol 12, Issue 02, 2021. Pp. 3035-3041. doi.org/10.6084 / m9.figshare.15156279
27. Берлинер М.А. Измерения влажности. – М.: Энергия, 1973. 400 с.
28. Каландаров П.И., Исмагуллаев П.Р. Сверхвысокочастотная влагометрия и проблемы метрологического обеспечения. // Журнал Приборы №7. 2011. - с.40-44.

29. Исматуллаев П.Р., Каландаров П.И., Саитов Р.И. Экспрессный СВЧ влагомер зерна и зернопродуктов. // Исматуллаев П.Р., Каландаров П.И., Саитов Р.И. Хлеб и хлебопродукты. 1991. №10. с. 31-33.
30. Kalandarov P.I., Mukimov Z.M., Gazieva R.T., Ubaydullayeva Sh.R., Alimova N.B. Application of substitution schemes for the method of measuring the humidity of bulk materials. International Journal of Aquatic Science. Vol 12, Issue 02, 2021. pp. 2494-2498.
31. Kalandarov P.I., Mukimov Z. M., Sh.R. Raxmanov, A.M. Nigmatov. Problems of Energy Saving at Grain Processing Enterprises. Revista geintec-gestao inovacao e tecnologias. Current Issue Vol. 11 No. 4 (2021). Pp.2331-2338. <https://doi.org/10.47059/revistageintec.v11i4.2276>
32. Каландаров П.И., Аралов Г.М. Инвестиционная привлекательность – успешная реализация инновационных разработок работающих в режиме реального времени. «Инновационные технологии» №2.2021 йил . с. 88-91.
33. Кричевский Е.С., Волченко А.Г. Контроль влажности твёрдых и сыпучих материалов. // М.: Энергоатомиздат, 1987. 200 с.
34. Каландаров П.И., Мукимов З.М. Донни қайта ишлашда технологик жараёнларда автоматик назорат тизимининг аҳамияти. Агроилм. 2020. №5, б. 99-101.
35. Каландаров П.И., Мукимов З.М. Анализ состояния контроля влажности зерна в удалённом режиме в условиях ао “ГАЛЛА-АЛТЕГ”. Қишлоқ ва сув хўжалиги. 2021. №3 с. 34-37.
36. Птушкин А.Т., Новицкий О.А. Автоматизация производственных процессов в отрасли хранения и переработки зерна. М.:Колос, 1979,-335 с.
37. М. П. Асмаев, Ю.Ф. Марков, С.А. Подгорный. Автоматическое увлажнение зерна на предприятиях мукомольной промышленности. Известия ВУЗов. Пищевая промышленность №1-2. 2005. С. 45-51.
38. Перекрест Ф.О. Совершенствование процесса увлажнения зерна в технологии его размола: Дис... канд. техн. наук: 05.20.01 Зерноград, 2012. 181 с.
39. Kalandarov, P.I., Mukimov, Z.M., Nigmatov, A.M. Automatic Devices for Continuous Moisture Analysis of Industrial Automation Systems Lecture Notes in Mechanical Engineering, 2022, стр. 810–817
40. А.Б. Анисимов, Ф.Я. Рудник, Б.П. Загородский. Совершенствование подготовки зерна к помолу на малых предприятиях. Вестник Мордовского университета Том №28, №4, - 2018, с. 603-623.
41. С. Балакшин. Электрофикации мельниц. ”Steam plant are doomed in the millindustry” Томск. 2020. 78 с.

42. Штофер Г.А., Гайсарова А.А. Особенности организации энергосберегающих мероприятий на предприятии. Экономика строительства и природопользования № 3 (76) 2020 г. С. 28-33. DOI 10.37279/2519-4453-2020-3-28-33
43. Эколого-экономические аспекты функционирования региональных систем: монография / Под общей ред. д-ра техн. наук, проф. Н.М. Ветровой. - Симферополь, ИТ «АРИАЛ», 2019.240 с.
44. Абдюкаева А.Ф., Огородников П.И., Припадчев А.Д. Устройство для измельчения / Патент на изобретение № 2263542 выдан 10.11.2005 г.
45. Е.С. Колбина. Логистический подход к обеспечению оптимальных условий хранения зерновых культур. Journal of Economy and Business, vol.5. с.14-16.
46. Matveev D.M. Current state of production and finance development of scientific and technological progress in agriculture / European Researcher. – 2014. – Vol.(81), № 8-2. – P. 1532-1545.
47. Медведев, П.В. Новые методы оценки технологических свойств зерна пшеницы с использованием информационных технологий/П.В. Медведев, В.А. Федотов, И.А. Бочкарев//Хлебопродукты. 2017. - №1. С. 60-63.
48. Медведев, П.В. Комплексная оценка потребительских свойств зерна и продуктов его переработки/ П.В. Медведев, В.А. Федотов, И.А. Бочкарев//Междун. н. иссл. журнал. 2015. №7. С. 81-83.
49. Каландаров П.И., Аралов Г.М. Разработка приборов измерения влажности продуктов агропромышленного комплекса в полевых условиях. Международная научно-практическая онлайн конференция «Эффективность применения инновационных технологий и техники в сельском и водном хозяйстве» 25 - 26 сентябрь Бухара – 2020. С.384-386.
50. ГОСТ Р 51379-99. Энергосбережение. Энергетический паспорт промышленного потребителя топливно-энергетических ресурсов. Основные положения. Типовые формы.
51. Kalandarov, P.I. Estimate of Precision of Thermogravimetric Method of Measuring Moisture Content: Estimate of Precision and Effectiveness Gained with the Use of the Method in the Agro-Industrial Complex Measurement Techniques, 2021, 64(6), стр.522-528
52. Секанов Ю.П. Влагометрия сыпучих и волокнистых растительных материалов. М.: ВИМ, 2001. 189 с.
53. Федоткин И.М., Клочков В.П. Физико-технические основы влагометрии в пищевой промышленности. К.: «Техника», 1974. 320 с.

54. Kalandarov, P.I., Mukimov, Z., Abdullaev, K., ...Toshpulatov, N., Khushiev, S. Study on microwave moisture measurement of grain crops IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021, 939(1), 012091
55. Сайтов Раиль Идиятович. Унифицированная система контроля влажности зерновых продуктов на основе СВЧ-метода. Дис ... д-ра техн. наук: 05.11.13. С. Петербург, 2000, 208 с.
56. Кричевский Е.С., Волченко А.Г. Контроль влажности твёрдых и сыпучих материалов. // М.: Энергоатомиздат, 1987. 200 с.
57. Лисовский В.В., Титовицкий И.А. Микроволновой контроль влажности в технологических процессах АПК. Минск, БГАТУ, 2013, 232 с.
58. Хайретдинова А.Ф., Абдеев Р.Г., Сайтов Р.И. Оценка составляющих погрешности гигротермического метода измерения влажности зерна непосредственно в процессе его сушки // Пищевая промышленность. 2011. № 3. С. 28-29.
59. Морозов М.С., Морозов С.М., Реут В.А. Автоматизированная система контроля влажности зерна. // Вестник науки и образования, 2017. № 3 (27). Том 1. С.47-50.
60. Матис И.Г. Электроёмкостные преобразователи для неразрушающего контроля. -Л. Изд. 2. Знание, 1992. 215 с.
61. Романов В.Г. Поверка влагомеров твердых веществ. М. Издательство стандартов, 1983. 176 с.
62. Берлинер М.А. Влагомеры СВЧ // Приборы и системы управления. 1970. № 11. С. 19–22.
63. Бензарь В.К. Техника СВЧ-влагометрии. Минск: Вышэйшая школа, 1974. 352 с.
64. Теория и практика экспрессного контроля влажности твердых и жидких материалов / Под ред. Е.С. Кричевского. М.: Недра, 1972.
65. Каландаров П.И., Искандаров П.И. Приборы контроля влажности для автоматизации технологических процессов производства агропромышленного комплекса // Автоматизированные технологии и производства. 2013. № 5. С.179-184.
66. Исмагуллаев П.Р., Сайтов Р.И., Каландаров П.И. Авторское свидетельство. Автоматический СВЧ влагомер. SU 1290150 A1, 1987. Бюл. № 6.
67. Каландаров П.И. Автоматический СВЧ-влагомер Патент на полезную модель Узбекистана. №FAR00679. 24.08.2010. Бюл. № 12.
68. Кричевский Е.С., Волченко А.Г., Галушкин С.С. Контроль влажных твердых и сыпучих материалов / Под ред. Е.С. Кричевского. М.: Машиностроение, 1986. 136 с.



69. Никонов Ф.Б. Разработка процессов и аппаратов для контроля качества продуктов в СВЧ диапазоне. Дис. ... канд. техн. наук: 05.18.12. Москва, 2008, 108 с.
70. Iskandarov B.P., Kalandarov P.I. An analysis of the effect of interfering factors on the results of measurements of the moisture content of a material at high frequencies // Measurement Techniques. 2013. Vol. 56. № 7. PP. 827-830.
71. Kalandarov P.I., Iskandarov B.P. Physicochemical measurements: measurement of the moisture content of brown coal from the Angrensk deposit and problems of metrological assurance // Measurement Techniques. 2012. Vol. 55. № 7. PP. 845-848.
72. Искандаров Б.П., Каландаров П.И. Автоматический контроль влажности твёрдых сыпучих материалов в технологическом потоке/ Искандаров Б.П., //Электротехнические системы и комплексы. 2012. № 20. С.303-308.
73. Каландаров П.И., Б. Искандаров. Измерения влажности в технологическом процессе с коррекцией по толщине слоя материала // Приборы. 2012. № 7 (145). С.19-22.
74. Федюнин П.А. Дмитриев Д.А., Воробьев А.А., Чернышов В.Н. Микроволновая термовлагометрия // Под общ. ред. П.А. Федюнина. М.: «Издательство Машиностроение-1», 2004. 208 с.
75. Буянтуев В.В., Шиян В.П. СВЧ влагометрия зерновых культур // Вестник науки Сибири. 2012. № 5 (6). С.36-40.
76. Тетушкин В.А. СВЧ-метод контроля влажности органических соединений // IX науч. конф. ТГТУ. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2004. С. 172 – 173.
77. Трушкин А.Н. Микроволновой метод измерения влажности зерна //Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. 2019. Т.2. № 4. С. 515-521.
78. Семенова Т.И. Разработка электродинамического метода СВЧ влагометрии зерна в потоке. Дис. ... канд. техн. наук: 05.18.12. Москва, 2003. 130 с.
79. Каландаров П.И. Контроль влажности агропромышленных продуктов на основе сверхвысокочастотного метода. Приборы. №4, 2021 г. С.6-10.
80. Каландаров П.И., Мукимов З.М. Дон маҳсулотларини қайта ишлаш жараенида гидротермик усулида намлигини назорат қилиш. Дон маҳсулотлари гидротехник ишлов беришда намлигини ўлчаш усуллари. Электрон ҳисоблаш машиналари учун яратилган дастурнинг расмий рўйхатдан ўтканлиги тўғрисидаги ГУВОҲНОМА №DGU 10585, 24.03.2021 йил.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	5
1.1. Методы гидротермической обработки зерна .....	6
1.2. Гидротермическая обработка зерна рис .....	8
1.3. «Холодные» способы гидротермической обработки зерна .....	10
1.4. Гидротермическая обработка зерна с использованием тепловых факторов воздействия .....	17
1.4.1. Горячий способ гидротермической обработки зерна .....	17
1.5. Скоростной метод гидротермической обработки зерна ...	19
1.6. Гидротермическая обработка зерна с жесткими режимами воздействия .....	21
1.7. Технологии гидротермической обработки зерна при производстве зерновых продуктов быстрого приготовления и готовых к употреблению .....	23
1.8. Специфические приемы гидротермической обработки зерна в технологии комбикормов .....	26
2.1. Проектирования приборов контроля влажности зерна для мукомольных производств .....	31
2.2. Теоретические основы измерение влажности твердых и сыпучих материалов .....	41
2.3. Контроль влажности зерна в процессе отволаживание ...	48
2.4. Анализ состояния контроля влажности зерна в удалённом режиме, в условиях АО «Галла-Алтег» .....	52
2.5. Проблемы энергосбережения на зерноперерабатывающих предприятиях .....	61
2.6. Приборное обеспечение контроля влажности при гидротермической обработке зерна и продуктов их переработки .....	73
2.7. Контроль влажности зерна и продуктов их переработки на основе сверхвысокочастотного метода .....	84
2.8. Измерение влажности мелкодисперсных сыпучих материалов .....	55
Заключение .....	91
Список литературы .....	94

**КАЛАНДАРОВ ПАЛВАН ИСКАНДАРОВИЧ**

**доктор технических наук, профессор;**

**МУКИМОВ ЗИЕВИДДИН МАЪМУРОВИЧ**

**КОНТРОЛЬ ВЛАЖНОСТИ ЗЕРНА  
ПРИ ГИДРОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ  
НА ЗЕРНОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

(Монография)

Ответственный редактор: к.т.н. проф. Газиева Р.Т.  
Редактор: Ташходжаева Н.

---

*Подписано в печать: 27.01.2021 г. Формат 60x84 - 1/16.*

*Объем: 7,5 п. л. Тираж: 50 экз. Заказ № 0111.*

*Отпечатано в типографии НИУ «ТИИМСХ».*

*Ташкент 100000, ул. Кари-Ниязова, 39.*