

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Алтайский Государственный технический университет  
им. И.И.Ползунова

Научно-исследовательская работа

Выполнил ФПП

**ЭКСПРЕСС-ИЗМЕРИТЕЛЬ ВЛАЖНОСТИ ЗЕРНА**  
Ивакин А. Г. студент гр. МАПП-62

**Введение**

В технологических процессах переработки зерна, а также при его хранении, приёме, оценке качественных характеристик особую роль играет такой показатель как влажность.

Кроме того, с развитием современной техники всё большую роль стала играть автоматизация технологических процессов. Но, несмотря на это, произвести автоматизацию некоторых из них в цикле переработки или укладки зерна на хранение невозможно, поэтому зачастую приходится производить настройку и контроль производства в ручную или «на глаз», что неизбежно приводит к потере качества конечного продукта.

Так, например, во время приёма зерна и выгрузки зерновоза в ток, вследствие некорректного определения влажности выгружаемого зерна возникают огромные потери массы. Тем более что на многих предприятиях до сих пор используют такой способ измерения как «измерение изменения массы», что увеличивает время приёма, а значит и время всего цикла производства.

На данный момент рынок приборостроения предлагает десятки измерительных приборов и методов реализации измерения влажности зерна. Но все они имеют ряд повторяющихся недостатков, в числе которых громоздкость, отсутствие мобильности, дороговизна, длительность измерительного процесса. Следовательно, разработка и создание влагомеров с более практичными характеристиками, в первую очередь, поиск экспресс-метода измерения, является достаточно актуальной проблемой.

**Таким образом, цель настоящей работы** - создание недорогого и практичного экспресс-измерителя влажности зерна.

#### **Существующие методы измерения и их реализация.**

Для начала следует рассмотреть существующие методы измерения и их реализацию в приборах.

Методы измерения можно разделить на три группы:

- 1) Измерения изменения массы.
- 2) Измерения изменения электрических параметров.
- 3) Поглощения различных видов энергии.

Метод измерения изменения массы при высушивании самый распространенный на предприятиях нашей страны благодаря высокой точности и простоте аппаратного исполнения. Основан на том, что образец продукта, заранее взвешенный с максимальной точностью, высушивают в специальном сушильном шкафу или специальном устройстве до наступления равновесия с окружающей средой (т.е. когда дальнейшая сушка не приводит к изменению массы). Далее влажность определяют сравнением массы до сушки с массой продукта после согласно формуле (1).

$$1) \omega = \frac{M_1 - M_0}{M_1}$$

где

$M_1$  – масса влажного продукта;  $M_0$  – масса абсолютно сухого продукта, а  $\omega$  – влажность в %.

Метод измерения изменения электрических параметров бывает двух типов: кондуктометрический и диэлькометрический.

Кондуктометрический основан на зависимости между влажностью вещества и его электрическим сопротивлением, что, в общем случае, выражается по формуле (2).

$$2) R_x = \frac{A}{\omega^k}$$

где  $R_x$  – сопротивление;  $A$  и  $k$  – положительные величины, зависящие от природы анализируемого материала и условий измерения.

Таким влагомерам свойственна значительная зависимость показаний от температуры. Влажность зерна в этих влагомерах чаще всего определяется по специальным приводным таблицам, где на основании показания измерительного прибора лаборант находит соответствующее значение влажности с учётом температурной поправки.

Диэлькометрический метод строится на зависимости диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь от влажности материала. Так, в качестве первичного измерительного преобразователя используются плоские или цилиндрические конденсаторы. Поскольку относительная диэлектрическая проницаемость воды равна 81, а для большинства сухих веществ (в том числе и зерна) она лежит в пределах от 2 до 10, то даже незначительное изменение влажности продукта вызывает изменение диэлектрической проницаемости. Этим самым меняется ёмкость конденсатора.

Во влагомерах, основанных на измерении поглощения электромагнитной или акустической энергии, исследуемое вещество помещают между источником колебаний (магнитных или акустических) - излучателем и приёмником, а измерительная установка регистрирует изменение уровня энергии, вызванное прохождением излучения через вещество. В акустических измерителях источник колебаний - акустический излучатель, приёмник акустический преобразователь. К тому же классу относят радиоактивный метод ослабления бета - и гамма-излучений, а также нейтронный метод. Последний, наиболее распространенный, строится на использовании свойств ядер водорода значительно замедлять быстрые нейтроны, превращая их в тепловые. Таким образом, измерение влажности сводится к измерению числа тепловых нейтронов.

Сравнительно недавно был открыт и абсолютно новый метод - оптический. Заключается он в анализе спектра отраженного от поверхности зерен излучения видимого, а также ближнего и среднего инфракрасного диапазона спектра. Вода имеет характерные окна поглощения. Сравнивая коэффициенты поглощения пробы сухого зерна (эталона) и пробы, представленной для анализа, можно определить влажность.

Среди всех вышеперечисленных методов считаю необходимым выделить диэлькометрический, так как основанные на нём ёмкостные датчики, обладают рядом преимуществ по сравнению с другими, к их достоинствам относятся:

- 1) малое потребление энергии;
- 2) простота изготовления;
- 3) использование дешевых материалов;
- 4) отсутствие контактов (в некоторых отдельных случаях - один токосъем с помощью кольца и щетки);
- 5) высокая точность и стабильность работы систем с емкостными датчиками;
- 6) возможность широкой регулировки приборов с некоторыми типами емкостных датчиков.

К недостаткам емкостных влагомеров можно отнести высокое внутреннее сопротивление, достигающее десятков и даже сотен мегом, высокие требования к сопротивлению крепежных изолирующих деталей и необходимость работы на повышенной (по сравнению с 50 Гц) частоте. Но изменение ёмкости измерительного преобразователя происходит и в результате влияния плотности укладки материала, его температуры, электропроводности, изменения состава и т.п. Поэтому при конструировании емкостных влагомеров принимают специальные меры по компенсации этих влияний на точность измерения.

Далее рассмотрим и сравним устройства, реализующие данный метод измерения на примере влагомеров **Multi-grain, Фауна-М, ВСП-99, Wile-55** (приложение №1).

Результаты сравнения систематизированы в таблице, данные которой показывают, что ни одна из конструкций указанных в таблице приборов не позволяет мгновенно оценить влажность зерна, а требует дополнительного отбора пробы, что приводит к увеличению времени замера.

Так же максимальный объём пробы, подлежащий измерению в данных устройствах ничтожно мал, по сравнению с тем количеством зерна, которое используется на производствах и подлежит контролю. Следовательно, при переводе влажности пробы на весь контролируемый объём, велико значение погрешности, которое не подпадает в указанный производителями промежуток отклонений.

Можно сделать вывод о том, что приборы такого класса не приемлемы для использования на производствах и по причине высокой стоимости существуют на предприятиях в единичном экземпляре. А предприятия малого и среднего бизнеса вообще не могут позволить себе такого приобретения. Ещё одной проблемой, сопровождающей такие приборы является сложность в эксплуатации, требующая дополнительных знаний и навыков.

Из всего вышесказанного следует, что при создании экспресс-измерителя влажности зерна следует использовать диэлькометрический метод измерения. А главной проблемой становится решение принципиально-электронной и конструктивных задач, среди которых:

**1. Уменьшение числа деталей, путём разработки более простой электронной реализации метода.**

**2. Уменьшение удельной стоимости путём использования в конструкции дешёвых, легкообрабатываемых материалов.**

**3. Разработка конструкции, позволяющей производить измерения без необходимости дополнительного отбора пробы.**

**4. Уменьшение времени измерения, путём упрощения системы управления и вывода полученного результата.**

Далее рассмотрим устройство, разработанное в ходе работы и с учётом выше перечисленных проблем и методов их решения.

### **Экспресс-измеритель влажности зерна.**

#### **Принцип реализации метода.**

Любой измерительный процесс представляет собой последовательность преобразований изменения начального сигнала (происходящего вследствие изменения какого-либо электронного или механического параметра первичного преобразователя) в изменение сигнала, поступающего на индикационное устройство.

Таким образом, главными составляющими измерительной цепи является первичный преобразователь, преобразователь начального сигнала, индикационное устройство. Поэтому принцип организации их взаимодействия, устройство и характеристики каждого, являются главным фактором, влияющим на точность, скорость и долговечность работы всего измерительного прибора в целом.

В данном устройстве роль первичного преобразователя играет конденсатор, изменение диэлектрических параметров которого происходит вследствие изменения диэлектрической проницаемости изолятора, находящегося между его обкладками (в нашем случае роль изолятора играет зерно). Измерение же изменения ёмкости осуществляется путём измерения ёмкостного сопротивления конденсатора (два этих параметра неразрывно между собою связаны), а так как ёмкостное сопротивление конденсатора возникает только при прохождении через него переменного сигнала, то преобразователь включён в цепь с генератором высокой частоты и измерительным мостом (приложение №2).

Более подробно рассмотрим устройство измерительной цепи по приведённой в приложении №2 схеме. Здесь генератором частоты является симметричный мультивибратор на транзисторах  $Vt1$ ,  $Vt2$ . Частотоподающими элементами являются резисторы  $R3$ ,  $R4$  и конденсаторы  $C1$ ,  $C2$ . Изначально частота генератора составляла 100кГц, но в ходе многочисленных экспериментов наилучшие показатели точности и стабильности работы прибор проявил на частоте генератора 1мГц, поэтому установленные изначально транзисторы МП40, пришлось заменить на высокочастотные ГТ320. На выходе генератора установлен буферный каскад на транзисторе  $Vt3$  (той же марки, что  $Vt1$ ,  $Vt2$ ) для стабилизации и защиты частоты генератора.

Главной частью измерительной цепи является преобразователь начального сигнала измерительный мост, который состоит из диодного мостика на элементах  $Vd1$ - $Vd4$  марки Д220, резистора  $R1$ , номинального конденсатора  $C1$ , и датчика конденсатора  $Cд$ , который является первичным преобразователем. Питание схемы осуществляется напряжением 9В, что позволяет использовать батареи типа «Крона». Индикационным устройством служит миллиамперметр фирмы GOSSEN с ценой деления 1µА и максимальным значением 100µА.

Схема собрана на печатной плате из одностороннего фальгированного стеклотекстолита с применением жёсткой пайки.

### **Особенности и преимущества конструкции.**

Практически все существующие на данный момент влагомеры выполняются в виде измерительной камеры прямоугольной или цилиндрической формы, встроены в корпус устройства, в котором находится печатная плата и индикационное устройство.

Огромнейший недостаток таких конструкций (приложение №1) заключается в том, что они требуют дополнительного отбора пробы, что увеличивает время измерения. А сравнительно небольшой объём измерительной камеры становится причиной возникновения огромной погрешности при переводе результата на контролируемый объём. На следующей ступени работы после разработки электросхемы первоочередной задачей стало создание конструкции первичного преобразователя, позволяющей устранить вышеуказанную проблему (отбор дополнительной пробы). Как возможные варианты, рассматривалось несколько разработок. Всех их объединяла одна особенность, заключающаяся в том, что не зерно всыпалось в измерительную камеру или ёмкость с датчиком, а сам датчик погружался в зерно. Различия существовали в форме, материале и размерах. Испытания прошли спиралевидный, кольцевой, плоский, цилиндрический, стержневидный датчики. Лучшие результаты показал стержневидный, именно датчик такого типа было решено использовать в конструкции прибора:

- во-первых, такой датчик наиболее прост в изготовлении,
- во-вторых, требует меньше усилий для погружения в зерно,
- в-третьих, во время экспериментов он показал наибольшую чувствительность и стабильность показаний.

При этом в датчике используются стержни разной длины, что позволяет во время измерений избежать нежелательного замыкания о стенки или дно бункера.

Дальнейшим этапом работы стала разработка основного корпуса прибора.

В нашем случае конструкция должна позволять с легкостью вводить первичный преобразователь в зерно, совмещать возможность размещения батареи питания, электросхемы и индикатора, при этом быть транспортабельной, прочной и удобной в использовании.

Для этого было решено использовать конструкцию в форме "пистолетной рукоятки" (приложение №3). Условно конструкцию можно разделить на две части: несущая база и рукоятка. В корпусе несущей базы предусмотрен отсек для установки электросхемы, а также торцевые отверстия, с обеих сторон, для закрепления щупов первичного преобразователя и установки индикатора.

Рукоятка является силовой деталью, облегчает погружение датчика в зерно, в её корпусе размещается кнопка включения, а так же имеется закрывающаяся полость для размещения батареи питания.

Для удобства обслуживания обе детали корпуса являются составными, соединяются между собой при помощи хромированных саморезов, изготавливаются из пластмассы или текстолита.

### **Технические испытания.**

#### **Предварительные технические испытания измерительной цепи.**

По окончании разработки и сборки схемы требовалось убедиться в её работоспособности, по причине чего были проведены предварительные технические испытания.

Вместо датчика конденсатора в измерительную цепь поочерёдно включались конденсаторы разной ёмкости (3,9pF до 130pF со средним интервалом значений ~12pF), симулирующие изменение влажности зерна. С прибора снимались показания и вносились в таблицу.

Далее используя полученные в первом эксперименте данные ( $3,9\text{pF} = 1\mu\text{A}$ ) используя формулу  $\frac{C_k}{3.9} = \mu\text{A}$ , где  $C_k$  ёмкость подключаемого конденсатора;  $\mu\text{A}$  - показания прибора по шкале, просчитывались требуемые показания прибора при тех же значениях ёмкости конденсаторов

Результаты обоих экспериментов изображались на сравнительных графиках, по которым было установлено, что в большинстве показательных точек расхождение между графиками минимально, а если учесть тот факт, что конденсаторы имеют заводскую погрешность  $\pm 5, \pm 10\%$ , то следует утверждать, что схема обладает достаточной чувствительностью и пропорциональностью показаний.

### **Гидрофикация.**

После подтверждения работоспособности измерительной цепи и возможности использования её по назначению, были изготовлены все требующиеся детали и собран опытный образец прибора.

Следующим этапом было осуществлено испытание собранной конструкции и измерительной цепи в целом непосредственно на зерне при помощи метода гидрофикации.

Для этого зерно абсолютной влажностью в 10% разбивалось на пять одинаковых проб. Каждая из проб искусственно доувлажнялась по весу таким образом, чтобы каждая последующая отличалась от предыдущей пробы на 1%. Далее были произведены трёхкратные замеры каждой пробы, результаты которых выявили прямопропорциональную зависимость показаний прибора от влажности зерна и их достаточную повторяемость (приложение №4).

Таким образом, исходя из качественных характеристик установленных показаний можно сделать вывод, что разработанным в ходе исследования устройством достигнута поставленная задача, предлагаемый влагомер, можно и должно использовать по целевому назначению.

### **Заключение**

Главным результатом проведенной работы стало создание практичного экспресс-измерителя влажности зерна, при разработке и конструировании которого были изучены и учтены проблемы и недостатки существующих влагомеров. Найдены новые методы их устранения и решения, которые в последствие были воплощены в приборе.

Спроектированное и собранное в ходе работы устройство позволяет с достаточной точностью мгновенно оценить влажность зерна. Использование прибора не требует от измеряющего дополнительных специальных навыков и знаний, имеет практичную и простую конструкцию и является доступным по цене даже предприятиям малого бизнеса.

### **Таким образом, первоначальная цель настоящей работы достигнута.**

Дальнейшим этапом станет совершенствование прибора через оценку абсолютной погрешности и его градуировка на различные виды зерна.

### **Список литературы:**

1. Новицкий О.А, Сергунов В. С.  
Автоматизация производственных процессов на элеваторах и зерноперерабатывающих предприятиях. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Колос, 1981. 320с., ил. - (Учебники и учеб. пособия для техникумов системы М-ва заготовок СССР).
2. Фарзана н.г., Илясов л. В., Азим-заде А Ю.  
Технологические измерения и приборы: Учеб. для студ. вузов по спец.  
«Автоматизация технологических процессов и производств». - М.: Высш. шк., 1989. - 456 с.: ил.
3. Виглеб Г.  
Датчики: Пер. с нем. - М.: Мир, 1989. - 196 с., ил.
4. Р. М. Терещук, К. М. Терещук, А. Б. Чаплинский, Л. Б. Фукс, С. А. Седов Малогабаритная радиоаппаратура Справочник радиолюбителя Редактор Е. А. Воронько. Художественный редактор В. М. Тепляков.

Оформление художника В. Г. Самсонова. Технический редактор И. А Ратнер.  
 Корректоры Л. М. Тищенко, Т. А Коваль, Л. Г. Бузиашвили Издательство «Наукова думка»,  
 Киев, Репина, 3; 1976. -553 с.: ил.

Приложение 1

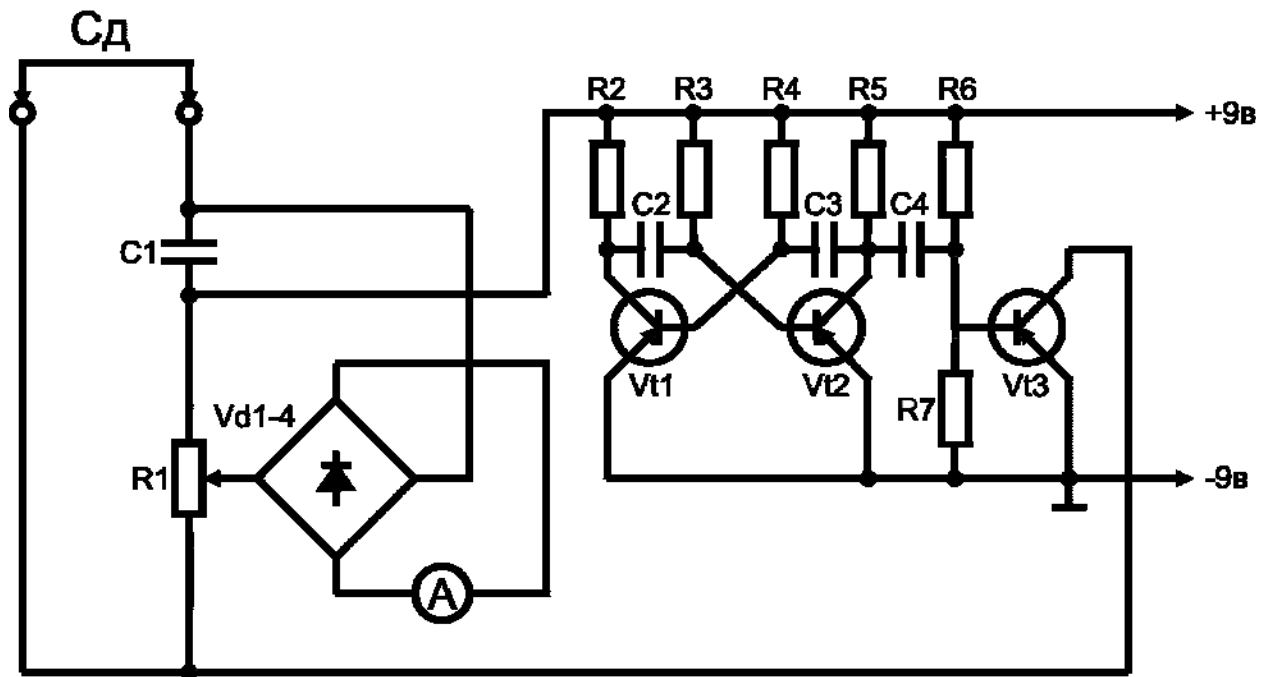
**Сравнительная таблица диэлькометрических влагомеров зерна**

Наименование	<i>Multi-Grain</i>	<i>Фауна-М</i>	<i>ВСП-99</i>	<i>Wile-55</i>
Внешний вид				
Метод измерения	<b>Диэлькометрический</b>			
Диапазон измерения влажности зерновых культур(%)	6-45	6-30	4-24	8-35
Погрешность измерений(%)	+0.5	+1-2	+0.5	+0.5-1
Напряжение питания(V)	6	9	9	9
Вес(кг)	1.5	0.33	0.33	0.8
Объём навески(мл)	240	300	800	90

Габаритные размеры(мм)	191/115/197	57/115/190	230/220/90	180/85/85
Средняя стоимость на рынке(руб.)	10797	6903	9700	9440

Приложение 2

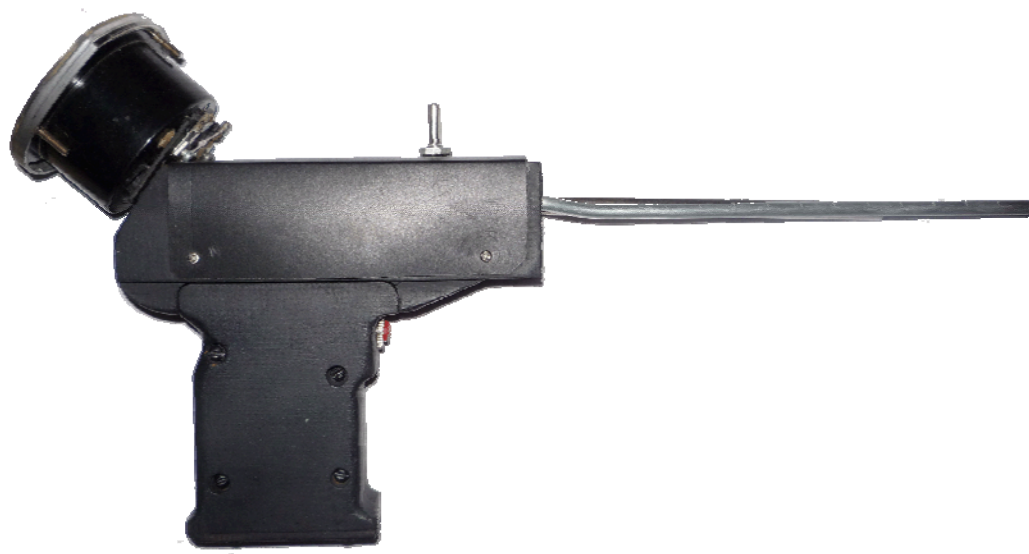
Принципиальная схема измерительной цепи



Приложение 3

Внешний вид устройства





#### Приложение 4

#### Результаты гидрофикации

Номер измерения	Влажность пробы(%)	10	11	12	13	14	15
1	Показания прибора (мА)	25	27,5	30	32,5	35	37,5
2		25	27,5	30	32	35,5	37,5
3		25	28	30	32	35	37,5