

Рисунок 3 – Кинематика звена DBM

а – к построению мгновенного центра скоростей звена; б – к теореме о проекциях скоростей двух точек звена

В работе приведен обзор различных способов определения скоростей. Различными аналитическими и графоаналитическими способами определены скорости подвижных шарниров и угловые скорости звеньев этого механизма.

Список использованных источников

1. Гарбарук, В. Н. Расчет и конструирование основных механизмов челночных швейных машин. – Л.: Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1977. – 232 с.
2. Вильщиков, Н. М. и др. Расчет и проектирование машин швейного производства / Н. М. Вильщиков [и др.] – Л. «Машиностроение», 1973. – 344 с.
3. Добронравов, В. В. Курс теоретической механики : учебник для вузов / В. В. Добронравов, Никитин Н. Н.– М.: Высшая школа, 1983. – 576 с.

УДК 621.317.39

## ЕМКОСТНОЙ ДАТЧИК ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ЗЕРНА В ПОТОКЕ

**Можжаров С.Е.<sup>1</sup>, н.с., Насиров Т.З.<sup>2</sup>, к.ф.-м. н., доц., Трубловский В.Л.<sup>3</sup>, н.с.**

<sup>1</sup>Витебский государственный технологический университет,  
г. Витебск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Ташкентский государственный технический университет,  
г. Ташкент, Республика Узбекистан

<sup>3</sup>Институт технической акустики НАН Беларуси,  
г. Витебск, Республика Беларусь

**Реферат.** Рассмотрена конструкция датчика влагомера для измерения влажности зерна в потоке. Датчик выполнен в виде усеченной шестигранной пирамиды, каждая из граней которой представляет собой плоский конденсатор. Данная конструкция позволяет повысить точность измерений как за счет увеличения начальной емкости преобразователя, так и за счет проведения нескольких параллельных измерений.

**Ключевые слова:** емкостной датчик, влажность зерна, усеченная пирамида, угол естественного откоса.

Одним из основных факторов, влияющим на качественные и количественные характеристики переработки зерна в муку, является влажность зерна перед помолом. Изменение влажности зерна перед помолом на 0,1 % уменьшает выход муки высшего сорта на 0,8 %, а второго

на 1 %, что, для мельницы с производительностью 100 т/сутки приводит к убыткам до 60 тыс. долларов в год. Для подготовки зерна к помолу проводится его гидротермическая обработка, где необходимо непрерывно и как можно более точно измерять влажность зерна в процессе сушки или добавления воды. По этой причине идет постоянное развитие средств измерения влажности зерна в технологических линиях мельниц [1].

Для создания высокоточного прибора контроля влажности крайне важным является вопрос выбора датчика, его принципа действия и конструкции. Современная практическая влагометрия базируется на методах, которые условно можно разделить на прямые и косвенные. В основе прямых методов измерения влажности лежит разделение материала на сухое вещество и влагу. Косвенные методы характеризуются тем, что влажность измеряется по физическим параметрам, функционально с ней связанным [2]. В настоящее время среди косвенных методов, самым простым, быстрым и экономичным является емкостный метод измерения влажности сыпучих материалов, в котором используется зависимость диэлектрической проницаемости контролируемого материала от влажности [3].

Обеспечение постоянного заполнения поточного датчика зерном является необходимым условием повышения его точности. Для этого используются как принудительная подача с уплотнением, например, шнеком, так и свободная подача материала, при этом выходное сечение делают меньше входного, круглого сечения с диаметром, равным  $10a$  ( $a$  – максимальный размер частиц материала). Угол выходного конуса должен быть на  $15-20^\circ$  больше угла естественного откоса исследуемого материала, высота электродов  $H > 10a$  [4]. Максимальный размер зерна пшеницы выбранного нами в качестве исследуемого материала 5 мм. Угол естественного откоса сухого зерна пшеницы  $28^\circ$  [5].

Ранее нами был проведен расчет конусного датчика влагомера со следующими геометрическими параметрами – высота 10 см, радиус выпускного отверстия 5 см, радиус входа 10 см. Максимальная расчетная емкость такого датчика 3.9 пф. [6]. Для проведения экспериментальных исследований нами была изготовлена измерительная ячейка в виде шестигранной усеченной пирамиды, которая вписывается в конус с приведенными размерами. Для изготовления граней пирамиды использовался фольгированный стеклотекстолит марки СФ-1-70Г, толщиной 2 мм. Электроды на гранях сделаны двух типов – сплошной (рис. 1 а), который являлся одним из электродов конденсатора, и разрезной (рис. 1 б), который представлял собой плоский конденсатор, конструкцию которого мы рассматривали ранее [7].

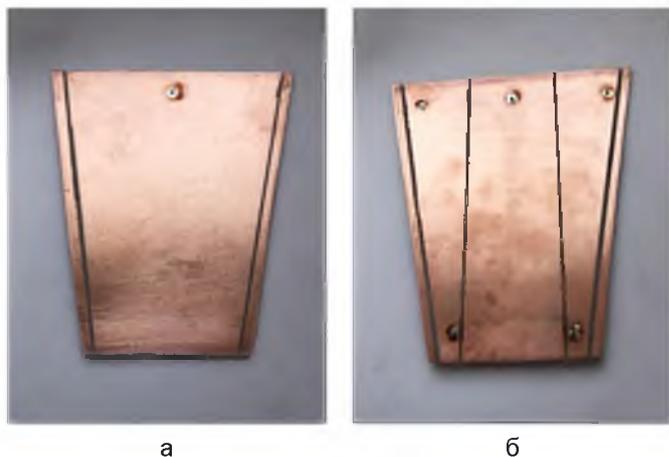


Рисунок 1 – Форма электродов на гранях пирамиды

Для того чтобы рассмотреть возможные варианты подключения данного устройства к измерителю, условно обозначим грани пирамиды цифрами от 1 до 6 (рисунок 2). При этом нужно пояснить, что все грани могут иметь конструкцию, приведенную на рисунке 1 б.

Измерение емкости проводили цифровым измерителем Е7-8 на частоте 1 кГц. Самый простой случай, когда грани 1-2-3 образуют один электрод, а грани 4-5-6 второй. Емкость такого конденсатора с воздухом около 12 пф, заполненного пшеницей 10 % влажности около 18 пф. Этот случай можно рассматривать как параллельное соединение трех конденсаторов 1-4,

2-5 и 3-6. Емкость таких конденсаторов около 4 и 6 пф, пустого и с зерном соответственно. Здесь необходимо заметить, что контроллер, который планируется использовать в измерительной части влагомера, допускает подключение до 14 датчиков влажности, и мы можем использовать подключение каждого из возможных конденсаторов как отдельного датчика влажности, тем самым увеличив число параллельных измерений. Еще один случай – это когда грани 1-3-5 образуют один электрод, а грани 2-4-6 – второй.

Емкость такого конденсатора около 42 пф пустого и 54 пф заполненного зерном. Этот случай можно рассматривать как параллельное соединение шести конденсаторов 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6 и

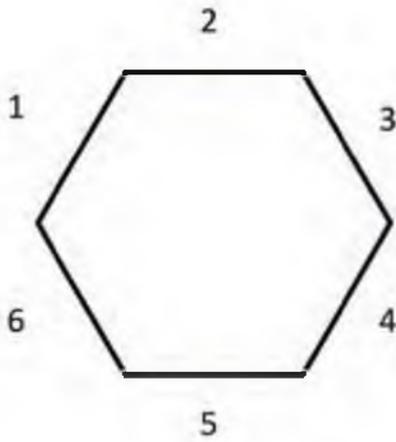


Рисунок 2 – Отметки отсеков датчика влагомера

как с точки зрения выполнения параллельных измерений (шесть измерений одновременно), так и в случае единичного датчика (максимальна разность емкости пустого и заполненного датчика).

Работа выполнена при поддержке БРФФИ (проект T21UZBG-014) и гранта Узбекистан – Беларусь ИЛ-423105684

6-1. Емкость таких конденсаторов около 7 и 9 пф, пустого и с зерном соответственно. И наконец, случай, когда грань пирамиды является плоским конденсатором. Емкость такого конденсатора около 12 пф, когда датчик пустой, и около 17 пф когда датчик заполнен зерном. Емкость при параллельном соединении около 70 пф и около 100 пф соответственно пустого и заполненного зерном. Измерение емкости этого варианта датчика, проведенное с помощью векторного анализатора NanoVNA V2 4 Plus с рабочим диапазоном частот 10 кГц – 4.4 ГГц на частоте 1,5 МГц (частота на которой планируется использовать разработанный датчик), дали соответственно 67 и 79 пф для пустого и заполненного зерном датчика, для одиночного конденсатора.

Таким образом, вариант датчика в виде шестигранной усеченной пирамиды, каждая из граней которой – плоский конденсатор, является оптимальным,

#### Список использованных источников

1. Афонин, В. С. Разработка прибора контроля влажности зерновой продукции на основе многоэлектродных емкостных преобразователей: автореферат кандидатской диссертации / В. С. Афонин; Барнаул, 2007 [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://tekhnosfera.com/razrabotka-pribora-kontrolya-vlazhnosti-zernovoy-produktsii-na-osnove-mnogoelektrodney-embkostnyh-preobrazovateley> . – Дата доступа: 12.02.2023
2. Коряков, В. Приборы в системах контроля влажности твердых веществ и их метрологические характеристики / В. Коряков, А. Запорожец // Інформаційні управляючі системи та комп'ютерний моніторинг (ІУС КМ - 2011). Матеріали ІІ міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених. – Донецьк, ДонНТУ. – 2011. – Т. 2. – С. 132–136.
3. Taghinezhad, J. Development of a capacitive sensing device for prediction of water content in sugarcane stalks / J. Taghinezhad, R. Alimardani, A. Jafari // International Journal of Advanced Science and Technology. – 2012. – Vol. 44. – P. 61–68.
4. Берлинер, М. А. Измерение влажности / М. А. Берлинер. – М.: Энергия, 1973. – 400 с.
5. Угол естественного откоса [Электронный ресурс] Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Угол\\_естественного\\_откоса](https://ru.wikipedia.org/wiki/Угол_естественного_откоса) . – Дата доступа: 12.02.2023
6. Насиров, Т. З. Расчет емкости конусного преобразователя влагомера зерна и зернопродуктов / Т. З. Насиров, П. Р. Исмагуллаев, Х. Ш. Жаборов // Приборы. – 2019. – № 4 (226). – С. 11–16.
7. Мозжаров, С. Е. Емкостной датчик влажности зерна и его температурные характеристики / С.Е.Мозжаров, Т.З. Насиров // сборник научных статей Международной научно-практической конференции Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве : (Минск, 24–25 ноября 2022 года) – Минск : БГАТУ, 2022. – С.187–190.