

## ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОЕМКОСТНОГО МЕТОДА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ИЗМЕРЕНИЕ ТОЛЩИНЫ ПОЛИПРОПИЛЕНОВОЙ ПЛЕНКИ

*Скрипниченко Владимир Александрович, Вавилова Галина Васильевна*  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск  
E-mail: vas85@tpu.ru

*Юрченко Владислав Владимирович*  
Карагандинский технический университет, г. Караганда

## APPLICATION OF THE ELECTRIC CAPACITIVE METHOD FOR CONTROL MEASUREMENT OF POLYPROPYLENE FILM THICKNESS

*Skripnichenko Vladimir Aleksandrovich, Vavilova Galina Vasilevna*  
National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk

*Yurchenko Vladislav Vladimirovich*  
Karaganda Technical University, Karaganda

**Аннотация:** статья посвящена рассмотрению методов контроля толщины полипропиленовых пленок. На основе анализа предложенных методов контроля толщины полипропиленовых пленок выбран емкостной метод за простоту реализации, безопасность, скорость проведения контроля и низкую погрешность. Путем сравнения экспериментальных и теоретических зависимостей доказана применимость емкостного метода для контроля толщины полипропиленовой пленки.

**Abstract:** the article is devoted to the consideration of methods for controlling the thickness of polypropylene films. Based on the analysis of the proposed methods for controlling the thickness of polypropylene films, the capacitive method was selected for its ease of implementation, safety, speed of control and low error. By comparing the experimental and theoretical dependences, the applicability of the electro-capacitive method for controlling the thickness of the polypropylene film has been proved.

**Ключевые слова:** толщина, полипропиленовая пленка, емкостной метод, конденсатор, емкость

**Keywords:** thickness, polypropylene films, electro-capacitive method, capacitor, capacitive.

Полипропиленовая пленка получила большое распространение в современном мире. Благодаря своей герметичности и водонепроницаемости полипропиленовая пленка нашла свое применение в пищевой промышленности, широко используется в строительстве для обеспечения звукоизоляции. Одним из важных параметров при изготовлении полипропиленовой пленки является ее толщина [1]. При производстве контролируется равномерность толщины по всей площади пленки, что позволяет сэкономить материал и вовремя выявить места с недостаточной толщиной слоя.

Для контроля толщины можно использовать различные методы неразрушающего контроля, основанные на применении радиационных, радиоволновых, акустических, электромагнитных и емкостных преобразователей.

**Радиационный метод** основан на пропускании через пленку бета-излучения. С одной стороны пленки устанавливают излучатель, с другой же крепится детектор, на котором формируется картинка о внутренней структуре объекта. Если в полости пленки есть дефекты, то излучение в этих местах будет более ослабленным. Равномерное изображение свидетельствует о постоянной толщине пленки [2].

**Достоинства:**

- возможность контролировать неполярные и высокополярные материалы.

**Недостатки:**

- требуется соответствующее разрешение на проведение контроля;
- повышенные требования безопасности для проведения данного контроля;
- не возможен односторонний контроль;
- низкая чувствительность;
- длительное время экспозиции.

**Радиоволновый метод** основан на регистрации параметров электромагнитных волн радиодиапазона, взаимодействующих с пленкой. Поток волн сверхвысокочастотного (СВЧ) диапазона длиной 1-100 мм пропускается через контролируемый объект, волна отражается от металлического основания, размещенного под контролируемым объектом, и возвращается обратно. В результате измерения фиксируется время прохождения электромагнитных волн, толщина вычисляется математически [3].

**Достоинства:**

- результаты измерений не зависят от электрических и магнитных свойств металлического основания;
- возможен односторонний контроль.

**Недостатки:**

- из-за низкой локальности излучения затруднен контроль малогабаритных деталей.

**Акустический метод** основан на регистрации параметров упругих колебаний, возбужденных в контролируемой пленке. Пьезоэлектрический преобразователь генерирует звуковые колебания высокой частоты. Полученные упругие механические колебания распространяются внутри исследуемого объекта до металлического основания и отражаются от границы раздела сред. В результате измерения фиксируется время прохождения электромагнитных волн, толщина вычисляется математически [3, 4].

**Достоинства:**

- высокая скорость проведения исследований;
- возможность проведения одностороннего контроля.

**Недостатки:**

- необходимо обеспечить хороший контакт поверхности пленки с пьезопреобразователем.

**Оптический метод** основан на оценке разности фаз двух отраженных электромагнитных волн от границы раздела объекта и окружающей среды. Для излучения используется один излучатель, а прием отраженных сигналов осуществляется двумя приемниками, размещенными на определенном расстоянии [4].

**Достоинства:**

- возможен контроль толщины прозрачных, а также тонких и сверхтонких покрытий.

**Недостатки:**

- усредненная оценка толщины покрытия на значительной площади отражающей поверхности;
- недостаточная точность измерения, ограниченная длиной волны электромагнитного излучения;
- сложный и трудоемкий процесс измерения.

**Электроемкостной метод** основан на регистрации изменений емкости конденсатора, состоящего из двух параллельно размещенных электродов. В пространстве между электродами размещается контролируемая пленка, изменение которой приводит к изменению емкости [3-5].

**Достоинства:**

- однозначность зависимости между значением емкости и толщиной объекта;
- простота и технологичность конструкции, удобство монтажа и эксплуатации;
- простота адаптации формы конденсатора;

- малая постоянная времени, позволяющая проводить измерения в динамическом режиме;
- возможность изготовления конденсатора с высокой точностью и малыми потерями;
- отсутствие нагрева и низкие шумы;
- высокая скорость проведения контроля.

**Недостатки:**

- малая емкость конденсаторов, используемых в качестве преобразователей;
- влияние на величину емкости температуры, влажности окружающей среды;
- сложность проведения контроля толщины сразу нескольких слоев [2,4].

На основании представленного анализа методов контроля толщины был выбран электроемкостной метод, потому что он обладает высокой скоростью проведения контроля, удобен и прост в реализации, безопасен и обладает малой погрешностью.

Для реализации электроемкостного метода используется абсолютный электроемкостный измерительный преобразователь, представляющий собой плоскопараллельный конденсатор с постоянной площадью перекрытия обкладок  $S$ . Расстояние между обкладками меняется в зависимости от толщины диэлектрика  $d$ . В качестве диэлектрика используются тонкие плоские образцы из полиэтилена. Толщина конденсатора варьируется количеством тонких пластинок, размещенных между обкладками, тем самым формируется толщина диэлектрика от 0,1 до 3 мм. Модель электроемкостного измерительного преобразователя показана на рисунке 1 [5].

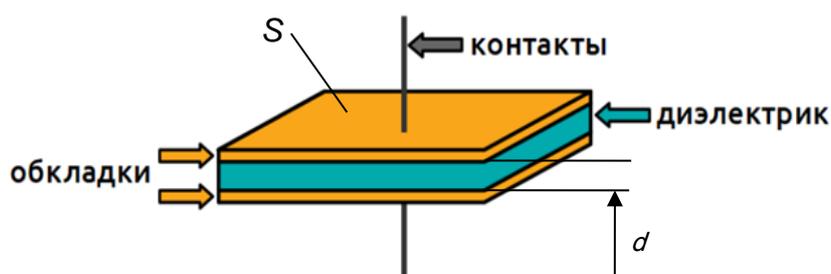


Рисунок 1 – Модель электроемкостного измерительного преобразователя [3]

Теоретическая зависимость емкости конденсатора от толщины диэлектрика для представленной модели описывается известной формулой [5]:

$$C = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot S}{d},$$

где  $S$  - площадь обкладок конденсатора;  $\varepsilon$  - диэлектрическая проницаемость диэлектрика;

$\varepsilon_0$  - электрическая постоянная;  $d$  - толщина диэлектрика.

Для проверки работоспособности принятой модели проведен эксперимент, упрощенная структурная схема, которого представлена на рисунке 2. Питание электроемкостного измерительного преобразователя (ИП) осуществляется синусоидальное напряжение с генератора (Г). Выходным сигналом ИП является напряжение, пропорциональное емкости образованного конденсатора (рис. 1), которое подается на входы амплитудно-фазового детектора (АФД). На выходе АФД формируется постоянное напряжение, амплитуда которого равна амплитуде выходного сигнала ИП. Полученное напряжение измеряется вольтметром. Полученное значение будет пропорционально значению емкости конденсатора при используемой толщине полипропиленовой пленке [3].



Рисунок 2 – Структурная схема для реализации электроемкостного контроля

На рисунке 3 показаны теоретическая зависимость (красная сплошная линия) значения емкости от толщины диэлектрика и зависимость, полученная экспериментальным путем (синие точки). Для удобства сравнения результаты приведены в условных единицах, приведенных к общему значению.

Анализ зависимостей показывает, что экспериментальная характеристика по форме зависимости не отличается от теоретической. Погрешность измерения не превышает 10%. Следует отметить, что подобная схема измерения имеет высокую чувствительность в диапазоне изменения толщины объекта до 1,5 мм. Следовательно, данный метод можно использовать для контроля толщины полипропиленовой пленки толщиной не более 2 мм.

**Вывод.** Контроль толщины полипропиленовой пленки в процессе ее производства позволяет получить качественный продукт и минимизировать затраты в случае получения изделия ненадлежащего качества.

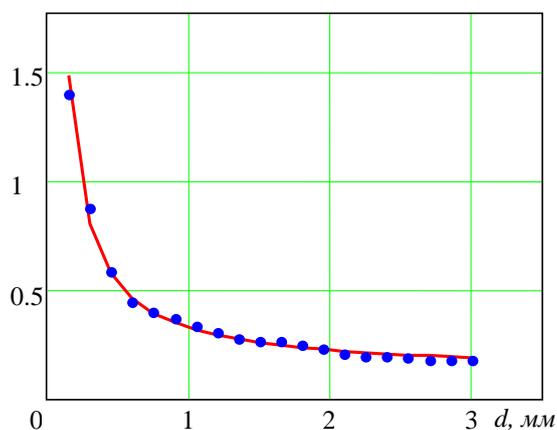


Рисунок 3 - График зависимости выходного сигнала от толщины диэлектрика

На основе обзора методов контроля, применимых для контроля толщины, выбран электроемкостной метод, который выделяется простотой реализации, безопасностью, высокой скоростью проведения контроля и низкой погрешностью.

Опытным путем показано соответствие экспериментальной и теоретической зависимости емкости от толщины диэлектрика. Показано, что отклонения зависимостей не превышает 10 %.

#### Список литературы

1. Смышляев А.Р., Бердышев Б.В., Губерман Ф. Коррекция толщины полимерных пленок в процессе их изготовления – ООО «Арсенал Инжиниринг», 2007. – №12. – 16 с.
2. Баус С.С., Вавилова Г.В., Мойзес Б.Б., Плотникова И.В. Исследование эксплуатационных свойств защитного свинцового экрана рентгеновских систем// Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2020. – № 5. – с. 7-12.
3. Гольдштейн А.Е. Физические основы получения информации: учебник для прикладного бакалавриата / А.Е. Гольдштейн. – М.: Издательство Юрайт, 2016. – 291 с.
4. Фрейден Дж. Современные датчики. Справочник. - М.: Техносфера, 2005. – 592 с.
5. Иоссель Ю.Я. Расчет электрической емкости. – Л.: Энергия, 1960. – 240 с.