

УДК 629.12.066-52

В.В. Кирюха

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ТОЛЩИНЫ ТОНКИХ НЕМАГНИТНЫХ ПЛЕНОК

Рассматриваются вопросы контроля толщины тонких пленок (полиэтилен, фторопласт) в процессе их производства.

Ключевые слова: пленка, толщина, измерительный преобразователь, емкостный датчик, индуктивный датчик.

V.V. Kiryuha

METHODS AND CONTROL THE THICKNESS OF THIN ENVELOPS NONMAGNETIC

The article deals with the control of the thickness of thin envelopes (polyethylene, Teflon) in the process of production.

Key words: envelope, thickness, transducer, a capacitive sensor, inductive sensor.

Тонкие немагнитные пленки (полиэтиленовые, фторопластовые и т.д.) находят широкое применение в различных отраслях промышленного производства и потребления. К примеру, в технике – это изолирующие и герметизирующие прокладки, полуфабрикат для производства специальных покрытий; в области потребления – материалы для фасовки и укупорки продуктов и товаров.

Пленки выпускаются с различными параметрами, толщина пленок в основном лежит в пределах $(5-150) \cdot 10^{-6}$ м (от 5 до 150 микрон). Допустимые по толщине отклонения составляют от 1 до 10 %. Поэтому для контроля толщины пленок в процессе их производства необходимы устройства, позволяющие осуществлять замеры с точностью до нескольких микрон и не оказывающие деформирующего воздействия на саму пленку. Сложность выполнения этого условия усугубляется тем, что в процессе производства пленки нагреваются (до температуры 40–70 °С) и легко деформируются, что исключает применение любых датчиков, оказывающих механическое воздействие.

Для измерения толщины тонких пленок можно применять электростатические (емкостные) преобразователи.

Измерение толщины пленки на основе применения принципа измерения емкости конденсатора в зависимости от толщины пленки можно осуществить двумя принципиально различными методами. Первый метод заключается в создании устройства, которое в зависимости от толщины пленки при помощи механического воздействия изменяет расстояние между двумя металлическими поверхностями, образующими обкладки плоскопараллельного конденсатора, тем самым изменяя его емкость. Второй метод основан на измерении изменения емкости конденсатора, вызванном изменением диэлектрической проницаемости его диэлектрика. Пластины такого конденсатора жестко фиксированы, а диэлектриком является газовая среда постоянного состава (воздух) и измеряемая пленка. Так как диэлектрические проницаемости газовой среды и измеряемой пленки различные, то при изменении толщины пленки общая диэлектрическая проницаемость среды диэлектрика конденсатора изменяется и это изменение приводит к изменению емкости конденсатора. Конструкция датчика показана на рис. 1.

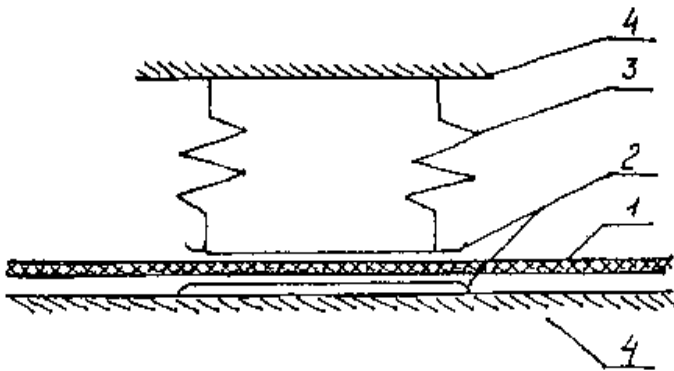


Рис. 1. Конструкция датчика толщины с электростатическим преобразователем
Fig. 1. The design of the thickness sensor electrostatic transducer

Одна пластина конденсатора 2 неподвижна и жестко фиксирована к основанию 4, а вторая – подвижна и с помощью пружин 3 прижимается к измеряемой пленке 1. В таком конденсаторе толщина пленки будет определять величину зазора между обкладками конденсатора. Емкость такого конденсатора можно рассчитать по формуле

$$C = \xi \cdot \xi_0 \cdot \frac{S}{d},$$

где C – емкость конденсатора; ξ – диэлектрическая проницаемость вакуума ($8,85 \times 10^{-12}$ Ф/м), ξ_0 – относительная диэлектрическая проницаемость материала измеряемой пленки; S – площадь пластин конденсатора, м; d – зазор между пластинами конденсатора, м.

Если принять размер пластин конденсатора $10 \text{ см} \times 10 \text{ см}$, а зазор между пластинами (толщина пленки) – 100 мкм (10^{-4} м), то емкость такого конденсатора будет составлять около 1000 пФ .

Изменение емкости конденсатора в зависимости от изменения толщины пленки можно выразить формулой

$$C_x = C_1 \cdot \frac{1}{X},$$

где C_1 – емкость конденсатора при толщине пленки, принятой за единицу отсчета, в нашем примере 1000 пФ ; C_x – емкость конденсатора при изменении толщины в X раз.

Изменение толщины пленки на 1 мкм (10^{-6} м) вызывает изменение емкости конденсатора на 10 пФ , что может быть зафиксировано измерительной схемой. Применение датчиков, построенных на принципе плоскопараллельного конденсатора с изменяющимся зазором, имеет недостаток в том, что трудно выполнить плоскопараллельный конденсатор таким, чтобы он не оказывал трения на движущуюся ленту. Кроме того, подвижная пластина конденсатора должна реагировать на толщину измеряемой пленки, проходящей под этой пластиной. Поэтому механическая часть конструкции должна быть чувствительной к небольшим перемещениям. Однако столь чувствительная конструкция будет реагировать также на все паразитные воздействия, которые имеются в реальных производственных условиях: тряска, вибрация, колебания температуры и т.д. Поэтому большую возможность представляет конструкция с цилиндрическими обкладками конденсатора (рис. 2). Эта конструкция представляет собой два валика 1 и 2, один из которых находится на неподвижной оси, а второй – на подвижной, прижимаемой пружинами к первому валику. Между валиками протягивается измеряемая пленка 3.

При изменении толщины пленки подвижный валик смещается по отношению к неподвижному. Изменяется зазор между валиками. Валики выполняются из электропроводного материала и являются обкладками конденсатора.

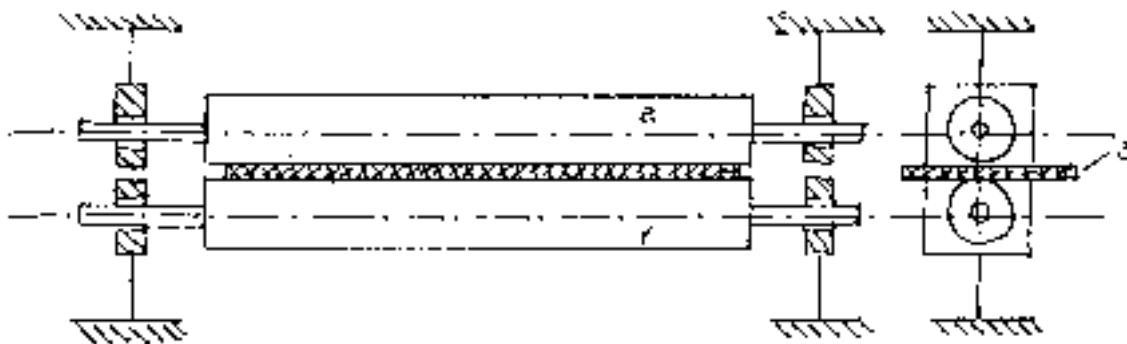


Рис. 2. Конструкция датчика толщины с электростатическим датчиком с цилиндрическими обкладками

Fig. 2. The design of the thickness sensor with electrostatic sensor cylindrical electrodes

С некоторыми допущениями можно рассматривать цилиндрические валики как двухпроводную линию ограниченной длины. Емкость двухпроводной линии можно вычислить по формуле

$$C = \xi \cdot \xi_0 \cdot \frac{\pi}{\ln \frac{\sigma}{d}},$$

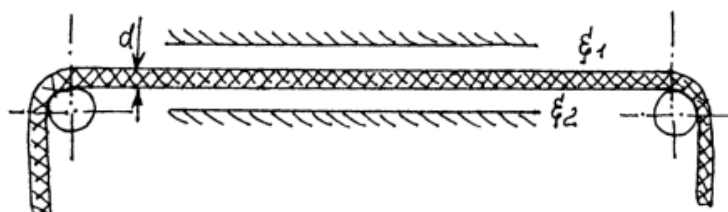
где σ – расстояние между осями валиков; d – диаметр валиков; ξ_0 – диэлектрическая проницаемость вакуума; ξ – относительная диэлектрическая проницаемость измеряемого материала; C – емкость конденсатора.

При длине валиков в 0,1 м и толщине пленки в 100 мкм изменение толщины пленки в 1 мкм будет вызывать изменение емкости в доли пикофарады. Для фиксирования столь малого изменения емкости необходимы высокоточные измерительные цепи с использованием напряжения повышенной частоты.

Достоинством емкостных датчиков, основанных на изменении зазора между обкладками, пропорциональному толщине контролируемого материала, является практически линейная зависимость изменения емкости от изменения толщины в рабочих диапазонах измерения.

Электростатические датчики, реагирующие на изменение суммарной диэлектрической проницаемости вещества в зазоре между пластинами, имеют несколько отличные от описанных технические характеристики (рис. 3).

Рис. 3. Конструкция датчика с неподвижными пластинами электростатического преобразователя
Fig. 3. The design of the sensor with fixed plates electrostatic transducer



Пластины такого конденсатора жестко фиксированы. В зазоре между пластинами пропускается измеряемая пленка. К примеру, будем производить контроль полиэтиленовой пленки. Относительная диэлектрическая проницаемость полиэтилена составляет (2,62–2,55), относительная диэлектрическая проницаемость воздуха близка к 1,0 и незначительно изменяется от температуры и давления. При измерении толщины пленки в зависимости от соотношения диэлектрических проницаемостей пленки и воздуха между обкладками конденсатора изменяется величина емкости C . Емкость такого датчика можно выразить формулой

$$C = \xi_0 \cdot \frac{S}{d} \cdot \frac{\xi_1 \cdot d + \xi_2 (\sigma - d)}{\sigma},$$

где ξ_0 – диэлектрическая проницаемость вакуума; ξ_1 – относительная диэлектрическая проницаемость пленки; ξ_2 – относительная диэлектрическая проницаемость воздуха; d – толщина контролируемой пленки; σ – зазор между пластинами конденсатора; S – площадь пластин конденсатора.

Изменение толщины пленки на 1 мкм при начальной толщине в 100 мкм и площади пластин в 10 см² вызывает изменение емкости конденсатора в десятые доли пикофарад. Для компенсации внешних воздействий датчики такого типа включаются в мостовую схему измерения. Достоинством таких датчиков является отсутствие движущихся частей, что позволяет создавать высокоточные измерительные системы.

Для измерения толщины покрытий, нанесенных на ферромагнитную основу, могут применяться индуктивные и вихретоковые преобразователи. В роли покрытия может выступать и слой коррозии на ферромагнитной поверхности. Все ферромагнитные материалы в той или иной степени подвержены коррозии. Особенно сильно подвергаются коррозии металлические конструкции, работающие на открытом воздухе или в условиях агрессивной среды (опоры линий электропередач, корпус судна). Коррозивные повреждения могут носить неравномерный характер. Это связано с тем, что на отдельных частях поверхности конструкций может быть нарушен слой защитного покрытия (краски, лака и т.д.), либо отдельные части сильнее подвержены воздействию влаги. Контроль толщины слоя коррозии (суммарного слоя от поверхности до ферромагнитной основы, включающего непосредственно коррозионный слой и слой покрытия), определяется эксплуатационными требованиями к таким сооружениям и лежит в пределах 0,1–1,0 мм.

Для контроля толщины покрытий такого типа может быть использован индуктивный преобразователь. Датчик такого преобразователя показан на рис. 4.

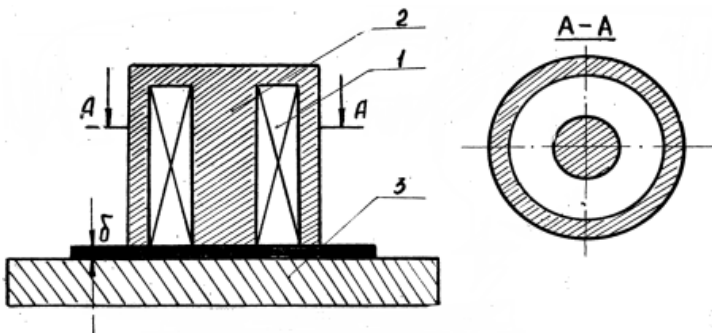


Рис. 4. Индуктивный преобразователь
Fig. 4. The inductive transducer

Датчик выполнен в виде броневго сердечника 2 с помещенной в него обмоткой 1. Якорем сердечника является ферромагнитный материал, на который нанесено покрытие или специальная ферромагнитная плита 3 при измерении толщины тонких листовых материалов. При изменении толщины материала между сердечником и якорем изменяется зазор σ , что приводит к изменению индуктивного сопротивления датчика.

Полное сопротивление обмотки датчика может быть определено по формуле

$$Z = R_0 + j2\pi f \frac{w_1^2}{Z_m + R_\sigma}, \quad Z_m = R_m + jX_m, \quad R_\sigma = \frac{2\delta}{\mu S},$$

где w_1 – число витков обмотки; R_0 – сопротивление обмотки постоянному току; Z_m – магнитное сопротивление магнитопровода; R_σ – магнитное сопротивление зазора; δ – толщина зазора;

S – площадь зазора; μ – магнитная проницаемость вещества в зазоре; f – частота питающего напряжения.

Для повышения точности измерений датчик включается в мостовую схему измерения (рис. 5). В другое плечо моста включается компенсатор L_2 , который является эквивалентом датчика, но имеет стандартный фиксированный зазор. В одну диагональ моста включается источник питания повышенной частоты, а с другой диагонали снимается сигнал, пропорциональный толщине контролируемого материала.

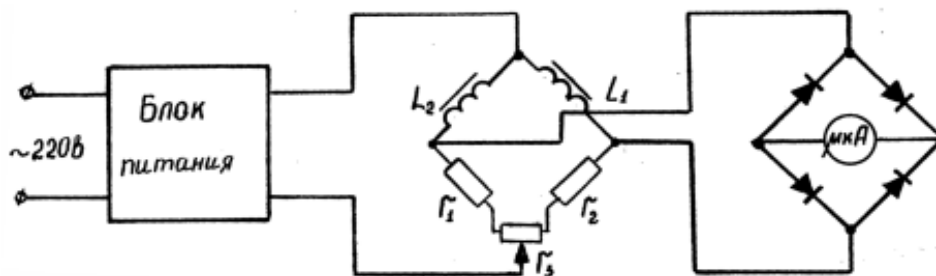


Рис. 5. Схема включения индуктивного преобразователя
Fig. 5. Driving inductive transducer

При изменении толщины сигнал изменяется и в дальнейшем подается в систему управления в качестве сигнала обратной связи. Управляющая микропроцессорная система регулирует давление воздуха и нагрев материала в экструдере (агрегат для производства полиэтиленовой пленки из гранулированного полиэтилена), что приводит, соответственно, к изменению толщины пленки.

Список литературы

1. Кирюха, В.В. Применение электростатических преобразователей для контроля толщины полиэтиленовой пленки в процессе ее производства / В.В. Кирюха // Науч. тр. Дальрыбвтуза. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2015. – № 34. – С. 65–68.
2. Кирюха, В.В. Анализ преобразователей неэлектрических величин и рекомендации по их использованию в судовых автоматических системах / В.В. Кирюха, Ю.М. Горбенко, В.С. Яблокова // Науч. тр. Дальрыбвтуза. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2015. – № 34. – С. 69–74.
3. Кирюха, В.В. Датчики в системах автоматики / В.В. Кирюха. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2007. – 150 с.
4. Горбенко, Ю.М. Измерительные преобразователи активного тока / Ю.М. Горбенко, В.В. Кирюха // Актуальные проблемы развития судоходства в Дальневосточном регионе: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Владивосток, 2011.
5. Кирюха, В.В. Контроль температурных параметров в неоднородных замкнутых средах / В.В. Кирюха // Науч. тр. Дальрыбвтуза. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2001. – Т. 14. – 173 с.
6. Молочков, В.Я. Микропроцессорные системы управления техническими средствами рыбопромысловых судов: учебник / В.Я. Молочков. – М.: Моркнига, 2013. – 398 с.

Сведения об авторе: Кирюха Владимир Витальевич, кандидат технических наук (МАНЭБ), доцент.