

Разработка конструкции и анализ технических характеристик электроадгезионной доски объявлений

В. А. Жуков¹, Н. С. Пщелко², А. С. Рябцев³

Военная академия связи имени С.М. Буденного

¹vic-zhukoff@yandex.ru, ²nikolsp@mail.ru, ³ras12042001@gmail.com

Аннотация. Рассмотрены достоинства и недостатки различных табло для отображения информации. При этом обозначена ниша, занимаемая традиционными досками объявлений с информацией на бумаге. Предложена конструкция доски объявлений, в которой закрепление объявлений осуществляется за счет пондеромоторных сил электрического поля без использования канцелярских кнопок, липкой ленты, магнитов и т.п. Рассмотрены основные элементы конструкции доски и ее источника питания. Приведены расчетные и экспериментальные данные по силовым характеристикам и быстродействию разработанного устройства.

Ключевые слова: эффект Джонсона–Рабек; электростатические крепежные устройства; электрическое поле; источник питания

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в качестве информационных табло широко используются различные электронные устройства для отображения информации. Примерами являются электронные табло на вокзалах, аэропортах, интерактивные доски для использования в учебном процессе, жидкокристаллические экраны различных размеров и назначений и т.д. Доски объявлений, на которых бумажные объявления закрепляются с помощью канцелярских кнопок, скрепок, магнитов, липкой ленты и т.п., безусловно, все больше уходят в прошлое. В то же время, стенды с закрепленной на них на бумажных носителях информацией, едва ли полностью исчезнут в ближайшее время. Представляется, что для этого есть следующие основные причины:

1. Для использования электронных табло необходим проводной или радиоканал связи с ними. Однако по техническим и экономическим причинам организация такого канала не всегда возможна. В результате, несмотря на всеобщую компьютеризацию, например, в ВУЗах в предсессионный период, оперативное вывешивание бумажных объявлений продолжает оставаться актуальным.

2. Вывешиваемая информация иногда должна быть представлена в оригинальном виде, а не в виде электронной копии. Например, выставка рисунков предполагает просмотр оригиналов этих рисунков; в противном случае не было бы смысла в организации таких выставок.

3. Многие пожилые люди не в полной мере владеют цифровыми технологиями, поэтому, например, в поликлиниках доведение до них необходимой оперативной информации посредством использования традиционных досок объявлений с информацией на бумаге является более надежным способом информирования.

В то же время, необходимость использования канцелярских кнопок, липкой ленты, магнитов и т.п. в традиционных досках объявлений делает их неудобными, неэстетичными и даже небезопасными – известны случаи, когда дети проглатывали магниты, которые при прохождении кишечника слипались и не могли выйти естественным путем, что приводило к необходимости хирургического вмешательства. При используемых в традиционных досках способах закрепления объявлений коррекция положения объявления на доске затруднительна – требуется снять объявление и закрепить его заново. При использовании таких способов закрепления объявления портятся, а при использовании канцелярских кнопок со временем портится и доска. Использование рассмотренных способов закрепления требует затрат на расходные материалы. Этих недостатков лишен способ закрепления объявлений в удерживающих прозрачных кармашках, однако при этом использовать объявления меньших размеров, а также перемещать объявление по площади доски не представляется возможным.

Таким образом, традиционные доски объявлений, наряду с рассмотренными выше достоинствами, имеют и недостатки. Поэтому целью настоящей работы является разработка доски объявлений традиционного типа, лишенной рассмотренных недостатков.

Для достижения этой цели предлагается использовать электростатические пондеромоторные силы. Электроадгезионный способ закрепления следует рассматривать гораздо шире – он может быть использован не только для закрепления объявлений, но и для временного или постоянного соединения деталей в самых различных областях техники [1–10]. Сейчас с помощью этого метода скрепляют не только плоские, но и объемные объекты.

Преимущества электроадгезионного контакта:

- возможность закрепления магнитных и немагнитных материалов, в том числе перфорированных;

- низкое энергопотребление из-за малого значения тока;
- простота изготовления и эксплуатации соответствующих устройств;
- возможность точного и плавного регулирования усилия;
- широкая область применения (крепежные устройства, контроль шероховатости, электростатические пинцеты, манипуляторы и др.)

II. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ПРЕДЛАГАЕМОЙ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЙ ДОСКИ ОБЪЯВЛЕНИЙ (ЭДО)

Как следует из анализа литературных данных, в настоящее время распространены ЭКУ на основе неоднородного поля, работающие за счет градиентных сил. В частности, фирмой JUSTICK разработана ЭДО на этом принципе [11]. Предлагаемая нами разработка отличается от этого прототипа:

- В предлагаемой разработке используется другой принцип закрепления – не на основе неоднородного поля, а на основе эффекта Джонсона–Рабека [1–5], что позволяет использовать более низкие напряжения. Эффект Джонсона – Рабека заключается в том, что при подаче напряжения на конденсаторную структуру, состоящую из нескольких слоев, большая часть напряжения падает на наиболее высокоомный слой. Если этот слой к тому же тонкий, то в нем возникает сильное электрическое поле и, как следствие, аномально большая сила притяжения. В качестве такого слоя в нашей конструкции используется тонкая высокоомная полимерная пленка.
- Энергопотребление предлагаемой разработки значительно меньше чем в прототипе JUSTICK, что особенно актуально при автономном питании.
- Предлагаемая нами разработка дешевле и технологичнее.

III. ПРИНЦИП РАБОТЫ И КОНСТРУКЦИЯ РАЗРАБОТАННОЙ ЭДО

Принцип работы ЭДО основан на использовании электростатических сил электрического поля, создаваемого между бумагой и внутренним электродом доски, рис. 1.

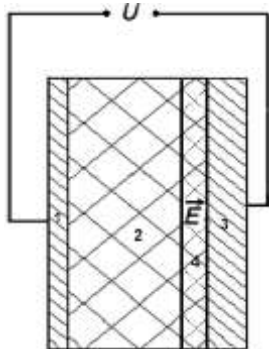


Рис. 1. Схематическое изображение разработанной ЭДО. 1 – электрод, 2 – основа из полупроводящей подложки, 3 – закрепляемый лист, 4 – диэлектрическая высокоомная пленка

Новизна и оригинальность предлагаемой идеи заключается в том, что плоский лист бумаги или картона фактически играет роль одной из проводящих обкладок плоского конденсатора, поскольку его удельное сопротивление значительно меньше удельного сопротивления полимерной пленки. Второй обкладкой служит плоский полупроводящий электрод, отделенный от бумаги высокоомной полимерной пленкой. На закрепляемый лист с помощью проводящих полосок на стороне пленки, обращенной к листу, подается нулевой потенциал. Высокий потенциал имеют электрод 1 и основа из полупроводящей подложки 2, надежно изолированные от закрепляемого листа. Кроме того, рабочий ток источника не превышает десятых долей микроампера и поэтому, несмотря на значительное напряжение (до 2 кВ), устройство абсолютно безопасно.

Благодаря эффекту Джонсона–Рабека, практически все приложенное напряжение U падает на полимерную пленку. Учитывая, что она имеет небольшую толщину d (десятки микрон), в ней возникает сильное электрическое поле $E = \frac{U}{d}$, и, как следствие, пондеромоторное давление, удерживающее лист бумаги:

$$p = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \varepsilon E^2, \quad (1)$$

где ε_0 – электрическая постоянная, ε – диэлектрическая проницаемость пленки. Благодаря этому лист надежно закрепляется. Для снятия лист следует поддеть за край, после чего он легко перемещается.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ И ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Рассчитанные по (1) значения давлений представлены на рис. 2.

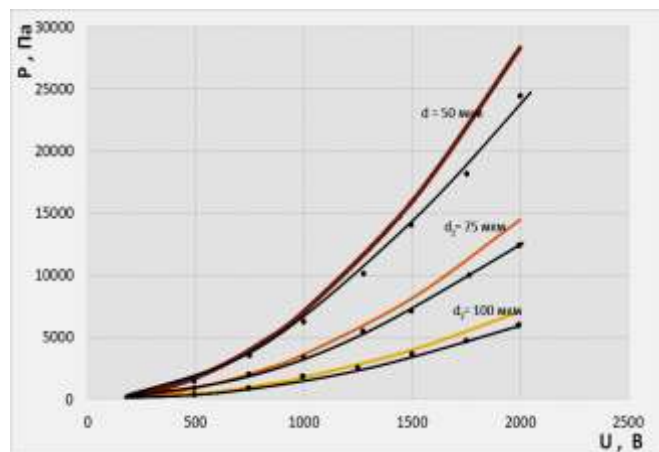


Рис. 2. Зависимость закрепляющего лист пондеромоторного давления от величины напряжения при различных толщинах пленки d . Цветные кривые – расчет, черные кривые и точки – данные эксперимента ($\varepsilon = 4$)

При различных разумных толщинах пленки порядка 50–100 мкм расчёты показывают, что лист бумаги формата А4 способен удерживать на сдвиг груз порядка 0,5 кг, что более чем достаточно для его закрепления. Этот результат был подтвержден экспериментально. Несколько меньшие значения экспериментальных сил по сравнению с

расчетными объясняются тем, что в расчете не учитывалось наличие небольшого воздушного зазора между закрепляемым листом и пленкой.

V. СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ЭДО

Так как плёнка высокоомная, то сообщённый ей заряд она удерживает долго, поэтому нет необходимости держать источник питания постоянно включённым. Особенностью разработанного источника питания является «мигалка» – электрическая схема, которая периодически включает источник питания лишь на короткое время (около 0,1 с) для подзарядки ЭДО, рис. 3. Все остальное время (около 15 с) «мигалка» потребляет очень малый ток (менее 0,3 мкА).



Рис. 3. Структурная схема электропитания ЭДО

Такая экономичность особенно актуальна, поскольку повышает автономность разработки, дает ей возможность длительно (годами) работать на пальчиковых батарейках и даже «вечно» – от солнечного элемента, для которого достаточно комнатного освещения. Отметим, что в зарубежном прототипе «гребенчатые» электроды расположены близко друг к другу и на значительной протяженности – по всей площади ЭДО. Это делает токи утечки по поверхности платы значительно больше, чем в нашей разработке. В результате, зарубежный прототип на батарейках работоспособен не более 9-ти месяцев.

VI. ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ЭДО

На рис. 4 показан изготовленный образец ЭДО, работающий от 4-х пальчиковых батареек.



Рис. 4. Образец ЭДО, работающий от 4-х пальчиковых батареек

Видно, что ЭДО может удерживать не только бумагу, но и более тяжелые объекты. Также на поверхности ЭДО можно разместить съемную прозрачную пленку, на которой можно писать маркером и стирать написанное как на обычной доске.

Таким образом, разработанная ЭДО отличается простотой конструкции, экономичностью и позволяет решить поставленные задачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Афанасьев В.П., Чигирев Д.А., Пшелко Н.С., Сидорова Н.П. Влияние постоянного электрического поля на процессы осаждения тонких металлических пленок платины методом ионно-плазменного распыления // Известия ВУЗов России. Радиоэлектроника. 2010. Вып. 6. С. 59-65.
- [2] В.С. Нагорный, Н.С. Пшелко, Н.П. Сидорова. Анализ динамики процесса формирования электроадгезионного контакта // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Сер. «Информатика, телекоммуникации, управление». 2009 г. №6. С.166-170.
- [3] Пшелко Н.С. Электрофизические методы неразрушающего контроля и формирования металлодиэлектрических структур: дис. ... докт. техн. наук / Санкт-Петербургский государственный горный университет. Санкт-Петербург, 2011.
- [4] Пшелко Н.С., Горбач Н.С., Водкайло Е.Г. Электростатическая доска объявлений. Современные образовательные технологии в преподавании естественно-научных и гуманитарных дисциплин // Сборник научных трудов IV Международной научно-методической конференции 11-12 апреля 2017 г. / Санкт-Петербургский горный университет. СПб, 2017. С.1002-1007.
- [5] Пшелко Н.С., Сырков А.Г., Вахренёва Т.Г., Пантюшин И.В., Сырков Д.А. Электрофизические и физико-химические микро-и нанотехнологии усиления адгезии компонентов в системе металл-диэлектрик. // Российские нанотехнологии. 2009. Т. 4. № 11-12. С. 42-47.
- [6] Kuz'Min Y.I., Pshchelko N.S., Sokolova I.M., Zakrzhevskiy V.I. The Percolation Behaviour of Electret at Presence of Water Condensation.- 8th International Symposium on Electrets, ISE 1994 // Proceedings. 8. 1994. P. 124-129.
- [7] Moshnikov V.A., Gracheva I.E., Pshchelko N.S., Anchkov M.G., Levine K.L. Investigating Properties of Gas-Sensitive Nanocomposites Obtained Via Hierarchial Self-Assembly // Smart Nanocomposites. 2011. V. 2. № 2. P. 165-179.
- [8] Pshchelko N.S., Tomaev V. V. Polarization of Surface Layers of Ionic Dielectrics at the Interface Between the Electroadhesive Contact and a Dielectric // Glass Physics and Chemistry. Vol. 42 No.1. 2016 . P.105 - 109.
- [9] Pshchelko N.S., Sevryugina M.P. Modeling of physical and chemical processes of anodic bonding technology // Advanced Materials Research, Vol. 1040, 2014, p 513-518
- [10] Pshchelko N.S., Klimenkov B. D., Vodkaylo E. G Increase of adhesion of conductive films on dielectric substrates by means of electric field // Journal of Physics: Conference Series, № 872, V 1, 2017. pp. 12023-12025.
- [11] Justick – electro adhesion products: [Электронный ресурс]. URL: justick.com/products