

**М. Ю. Янченков**

АО «Научно-производственное предприятие «Радар ммс»», Санкт-Петербург, Россия

## ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ДРЕЙФОВОЙ ТРУБЫ ВБЛИЗИ ПРИЕМНОГО ЭЛЕКТРОДА

*Подробно описывается зависимость напряженности электрического поля вблизи принимающего электрода дрейфовой трубы в зависимости от формы последнего электрода. Приведено описание модели дрейфовой трубы вблизи принимающего электрода и принимаемые допущения при моделировании. Сделаны выводы по результатам моделирования.*

**Ключевые слова:** спектрометрия ионной подвижности, моделирование, распределение напряженности электрического поля.

Для цитирования: Янченков М. Ю. Исследование напряженности электрического поля дрейфовой трубы вблизи приемного электрода // Радиопромышленность. 2017. № 2. С. 57–60.

**M. Yu. Yanchenkov**

Joint-stock Company «Research and Production Enterprise «Radar mms»», Saint-Petersburg, Russia

## INVESTIGATION OF ELECTRIC FIELD STRENGTH OF THE DRIFT TUBE IN CLOSE PROXIMITY TO RECEIVING ELECTRODE

*The dependence of the electric field strength in close proximity to the receiving electrode of the drift tube depending on the shape of the last electrode is described in detail. The description of the drift tube model behavior in close proximity to the receiving electrode and the assumptions made in the modelling are given. The conclusions are based on the results of modeling.*

**Keywords:** ion mobility spectrometry, modeling, electric field strength distribution.

For citation: Yanchenkov M. Yu. Investigation of electric field strength of the drift tube in close proximity to receiving electrode. Radiopromyshlennost, 2017, no. 2, pp. 57–60 (In Russian).

DOI 10.21778/2413-9599-2017-2-57-60

Применение метода спектрометрии ионной подвижности получило широкое распространение в приборах для оперативного обнаружения химических, наркотических и других вредных веществ [1–3]. Оптимизация дрейфовой трубы позволила повысить чувствительность и разрешающую способность приборов, применяющих данный метод для обнаружения веществ.

В данной статье рассматривается зависимость напряженности электрического поля вблизи принимающего электрода дрейфовой трубы в зависимости от формы последнего

электрода. Схематичное изображение исследуемой части дрейфовой трубы представлено на рис. 1.

Исследуемая модель представляет собой диэлектрическую трубу, на которую надеты металлические тонкостенные электроды, формирующие равномерное электрическое поле внутри диэлектрической трубы напряженностью 300 В/см. В качестве исследуемых электродов были выбраны параболический, конический и две вариации плоских электродов. Изображения исследуемых электродов приведены на рис. 2.

Исследовались электроды с диаметром сквозного отверстия 2 и 4 мм, толщины электродов были также 2 и 4 мм. Тонкостенный плоский электрод имел толщину 0,3 мм.

Моделирование проводилось с допущениями, что отсутствует взаимодействие ионов внутри дрейфовой трубы, отсутствует накопление поверхностного заряда на внутренней поверхности дрейфовой трубы, игнорируются погрешности изготовления деталей чувствительного элемента. Для решения электростатической задачи предполагается, что все объекты стационарные, то есть скорость перемещения равна нулю во всем пространстве, где вычисляется электростатическое поле, нет изменения во времени ни одной из электромагнитных величин  $\frac{\partial}{\partial t} = 0$  и нет тока в проводниках, и, таким образом, Джоулевы потери везде равны нулю. Допускается, что все проводники являются идеальными и эквипотенциальными, следовательно, внутри проводников отсутствует электрическое поле. Неизвестные переменные расчета – это электрические скалярные потенциалы во всех узлах тетраэдров сетки математической модели дрейфовой трубы. Распределение удельной проводимости в пространстве для задачи не имеет значения, для процесса решения важно только распространение диэлектрической проницаемости. Решением задачи является результат дифференциального уравнения Пуассона в частных производных для неизвестного электрического потенциала с соответствующими граничными условиями:  $\nabla(\epsilon_r \epsilon_0 \nabla \Phi) = -\rho_v$ , где  $\Phi(x, y, z)$  – это электрический потенциал, который является скалярной функцией положения;  $\epsilon_r(x, y, z)$  – относительная диэлектрическая проницаемость, которая является функцией положения и может быть изотропной или ортотропной;  $\epsilon_0$  – диэлектрическая проницаемость вакуума;  $\rho_v(x, y, z)$  – объемная плотность электрического заряда.

Когда электрический потенциал определен путем решения вышеупомянутого дифференциаль-

ного уравнения второго порядка в области модели, по уравнениям Максвелла и теоретическим формулам вычисляются векторы напряженности электрического поля  $\vec{E}$  и электрической индукции  $\vec{D}$  следующим образом:

$$\vec{E} = -\nabla\Phi,$$

$$\vec{D} = \epsilon_r \epsilon_0 \vec{E}.$$

Разрешающая способность спектрометра ионной подвижности рассчитывается как отношение времени дрейфа ионов к ширине ионного импульса на полувысоте пика и существенно зависит от однородности электрического поля в области дрейфа [4]. Помимо однородности электрического поля разрешающая способность зависит от таких факторов, как ширина импульса ионизации, диффузионные размытия, кулоновское отталкивание и индуцированный заряд на электроде коллектора. Наиболее неоднородное электрическое поле наблюдается вблизи концов дрейфовой трубы, где ионы вводятся в область дрейфа и вылетают из нее.

Результаты математического моделирования напряженности электрического поля в дрейфовой трубе вблизи приемного электрода представлены на рис. 3–7.

При увеличении проходного отверстия в последнем электроде увеличивается неравномерность напряженности электрического поля. Уменьшать до бесконечно малого размера диаметр отверстия нельзя, так как это негативно повлияет на чувствительность спектрометра. Наименьшее изменение величины напряженности электрического поля при небольших толщинах электродов наблюдается у пластинчатых и параболических электродов.

При увеличении толщины электродов напряженность электрического поля внутри дрейфовой трубы становится слишком неравномерной, что, в свою очередь, негативно повлияет на расчет приведенной ионной подвижности.

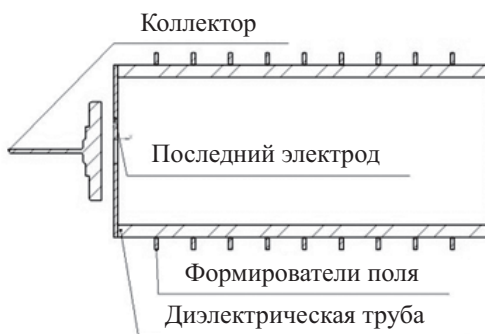


Рисунок 1. Схематичное изображение исследуемой части дрейфовой трубы

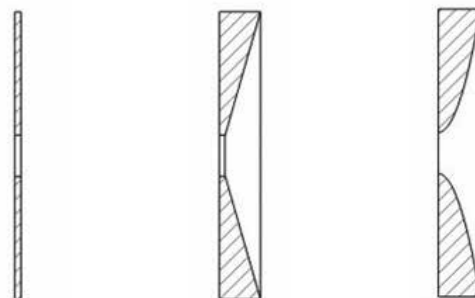


Рисунок 2. Виды исследуемых электродов: а – плоский; б – конический; в – параболический

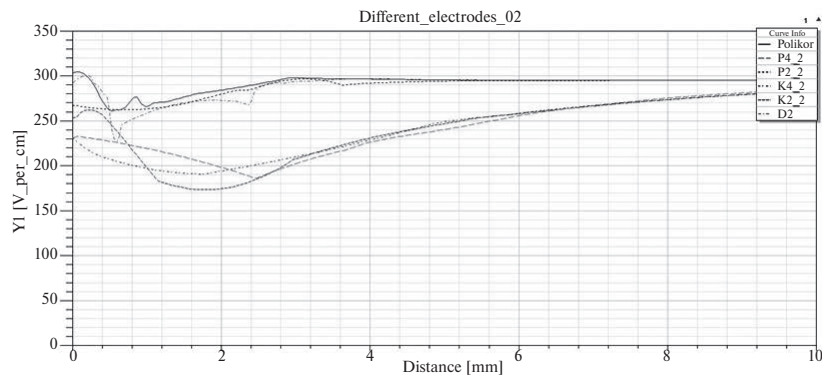


Рисунок 3. Зависимость напряженности электрического поля дрейфовой трубы с электродами толщиной в 2 мм

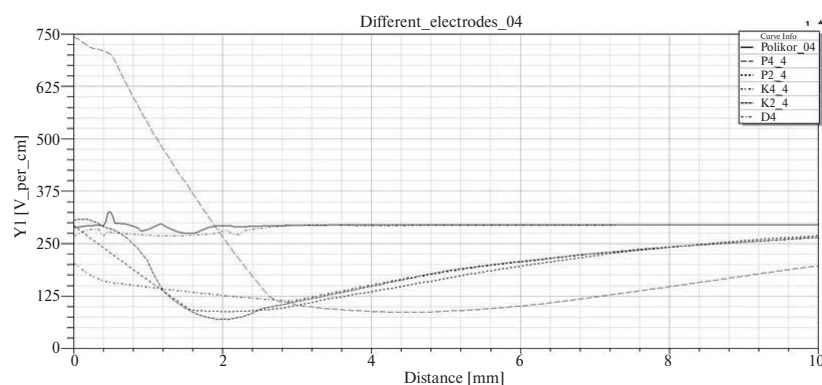


Рисунок 4. Зависимость напряженности электрического поля дрейфовой трубы с электродами толщиной в 4 мм

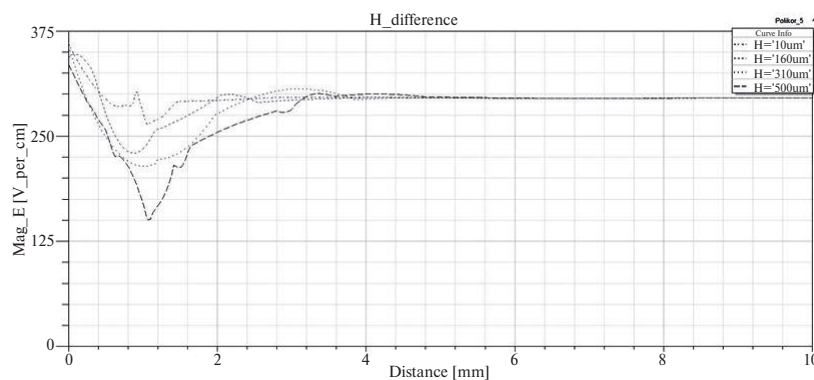


Рисунок 5. Зависимость напряженности электрического поля от толщины напыления

На рис. 5 представлена зависимость напряженности электрического поля от толщины напыления металлического слоя электрода на диэлектрическую подложку толщиной 0,3 мм.

Напыление металлического слоя толщиной до 50 мкм слабо влияет на однородность напряженности электрического поля. Таким образом, напыленный на диэлектрическое основание последний электрод имеет преимущество перед электродом,

выполненным из тонкого листового металла – например, нержавеющей стали.

Использование диэлектрической подложки толщиной менее 300 мкм также слабо влияет на равномерность напряженности электрического поля.

В результате проведенного моделирования наилучшие показатели наблюдались у тонких, до 2 мм параболических электродов, напыленных на диэлектрическую подложку толщиной до 300 мкм.

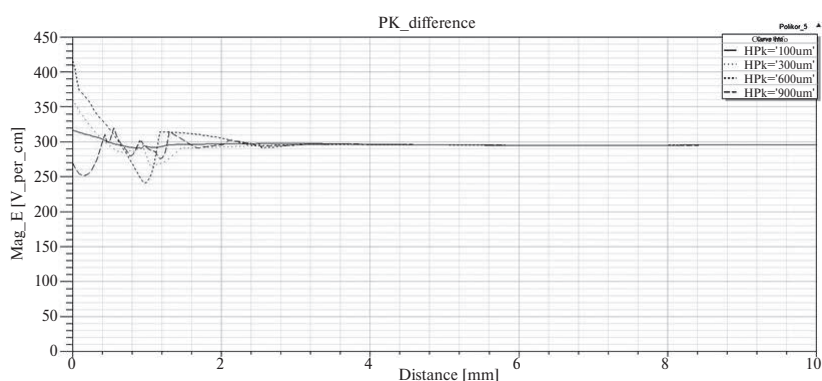


Рисунок 6. Зависимость напряженности электрического поля от толщины подложки

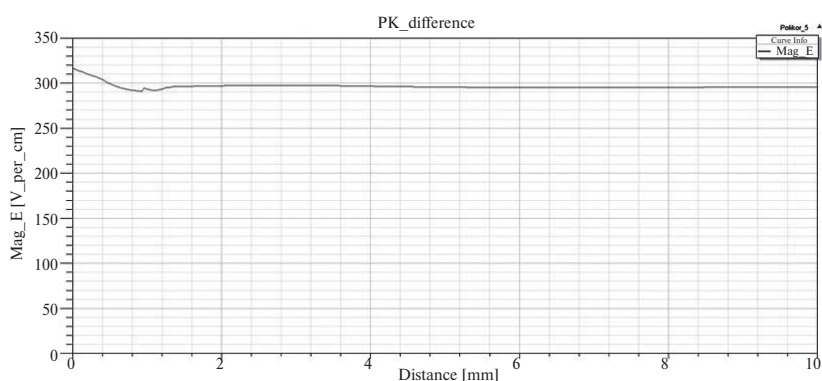


Рисунок 7. Напряженность электрического поля с тонким напыленным электродом

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буряков И. А. Обнаружение взрывчатых веществ методом спектрометрии ионной подвижности // Журнал аналитической химии. 2011. Т. 66. № 8. С. 788–809.
2. Harris G.A., Kwasnik M. and Fernandez.F. M. Direct Analysis in Real Time Coupled to Multiplexed Drift Tube Ion Mobility Spectrometry for Detecting Toxic Chemicals. American Chemical Society, Analytical Chemistry, 2011, vol. 83, pp. 1908–1915.
3. Dussy F.E., Berchtold C., Briellmann T.A., Lang C., Steiger R., Bovens M. Validation of an ion mobility spectrometry (IMS) method for the detection of heroin and cocaine on incriminated material. Forensic Sci. Int., 2008, vol. 177, pp. 105–111.
4. Soppart O., Baumbach J.I. Comparison of electric fields within drift tubes for ion mobility spectrometry. Meas Sci Technology, 2000, vol. 11, pp. 1473–1479.

## REFERENCES

1. Buryakov I.A. Detection of explosives by ion mobility spectrometry. *Zhurnal analiticheskoy himii*, 2011, vol. 66, no. 8, pp. 788–809 (In Russian).
2. Harris G.A., Kwasnik M., Fernandez F.M. Direct Analysis in Real Time Coupled to Multiplexed Drift Tube Ion Mobility Spectrometry for Detecting Toxic Chemicals. *American Chemical Society, Analytical Chemistry*, 2011, vol. 83, pp. 1908–1915.
3. Dussy F.E., Berchtold C., Briellmann T.A., Lang C., Steiger R., Bovens M. Validation of an ion mobility spectrometry (IMS) method for the detection of heroin and cocaine on incriminated material. *Forensic Sci. Int.*, 2008, vol. 177, pp. 105–111
4. Soppart O., Baumbach J.I. Comparison of electric fields within drift tubes for ion mobility spectrometry. *Meas Sci Technology*, 2000, vol. 11, pp. 1473–1479.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

**Янченков Максим Юрьевич**, инженер, АО «Научно-производственное предприятие «Радар ммс»», 197375, Санкт-Петербург, ул. Новосельковская, д. 37, лит. А, e-mail: janchenkov\_mju@radar-mms.com.

## AUTHOR

**Yanchenkov Maksim**, engineer, Joint-stock Company «Research and Production Enterprise «Radar mms»», 37, lit. A, Novoselkovskaya st., Saint-Petersburg, 197375, Russian Federation, e-mail: janchenkov\_mju@radar-mms.com.