

УДК 621.396.67

*А.И. КОРОБКО, З.И. КОРОБКО***ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ ОТ ОТКРЫТОЙ АПЕРТУРЫ БИКОНИЧЕСКОЙ АНТЕННЫ И РЕГУЛЯРНОГО ТЕМ РУПОРА СИММЕТРИЧНОГО ТИПА В ЧАСТОТНОМ И ВРЕМЕННОМ ПРЕДСТАВЛЕНИИ МЕТОДОМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

У статті методом імітаційного моделювання в середовищі Micro-Cap отримано рішення завдання по визначенню коефіцієнта відбиття від відкритого кінця біконічної антени у частотному та часовому вигляді. При цьому використовувалась відома схема заміщення біконічної антени у вигляді довгої лінії, що має на кінці комплексний опір, який залежить від частоти. Ця відома схема була спрощена шляхом обліку частотної залежності тільки мінливої частини цього комплексного опору, що дозволило моделювати поведінку біконічної антени з відкритою апертурою як у частотному, так і в часовому вигляді. Запропоновано регулярний ТЕМ рупор симетричного типу моделювати за допомогою еквівалентної біконічної антени. Визначені характеристики елементів схеми заміщення ТЕМ рупору. Проведено визначення коефіцієнта відбиття від відкритої апертури ТЕМ рупору у частотному та часовому вигляді. Наведено співпадіння величин коефіцієнта відбиття по запропонованій методиці з відомими аналогічними даними у частотному вигляді.

**Ключові слова:** коефіцієнт відбиття, біконічна антена, ТЕМ рупор, частотний вигляд, часовий вигляд, середовище моделювання Micro-Cap.

В статье методом имитационного моделирования в среде Micro-Cap решена задача определения коэффициента отражения от открытой апертуры биконической антенны в частотном и временном представлениях. При этом использовалась известная схема замещения биконической антенны в виде длинной линии, нагруженной на конце на комплексное сопротивление, которое зависит от частоты. Данная известная схема была упрощена путем учета частотной зависимости только мнимой части этого комплексного сопротивления, что позволило моделировать поведение биконической антенны с открытой апертурой, как в частотном, так и во временном представлении. Предложено регулярный ТЕМ рупор симметричного типа моделировать с помощью эквивалентной биконической антенны. Определены характеристики элементов схемы замещения ТЕМ рупора. Проведено определение коэффициента отражения от открытой апертуры ТЕМ рупора в частотном и временном представлении. Показано совпадение величины коэффициента отражения по предложенной методике с известными аналогичными данными в частотном представлении.

**Ключевые слова:** коэффициент отражения, биконическая антенна, ТЕМ рупор, частотное представление, временное представление, среда моделирования Micro-Cap.

This scientific paper uses the method of Micro-Cap simulation modeling to solve the problem on defining the coefficient of reflection from the open aperture of biconical antenna as a function of frequency and time. For this purpose we used the known equivalent circuit of biconical antenna in the form of a long line loaded at the end with the impedance that depends on the frequency. This known circuit was simplified by taking into consideration the frequency dependence of only imaginary portion of this impedance, which allowed us to simulate the behavior of biconical antenna with the open aperture both as a function of frequency and time. It was suggested to simulate the regular TEM horn of a symmetric type using the equivalent biconical antenna. The coefficient of reflection from the open aperture of TEM horn was determined as a function of frequency and time. It has been shown that the reflection coefficient value determined using the proposed method agrees with known similar data obtained for the frequency representation.

**Keywords:** coefficient reflective, buconical antenna, TEM horn, frequency representation, time representation, simulation environment Micro-Cap.

**Введение.** ТЕМ рупор и биконическая антенна являются сверхширокополосными (СШП) антенными системами, которые используются для излучения и приема как относительно узкополосных радиосигналов, так и для излучения и приема СШП импульсных сигналов.

Первый случай характерен, например, для систем радиосвязи, радиомониторинга, радиоразведки и систем радиоэлектронной борьбы [1].

Для этого случая характерным является факт, что занимаемая полоса рабочих частот полезного сигнала существенно меньше средней частоты полосы рабочих частот. При этом главным требованием, предъявляемом к СШП антенным системам, является возможность приема и передачи этих сигналов в широком диапазоне значений средней частоты без перестройки антенной системы.

Второй случай характерен для их использования в качестве излучателей импульсного электромагнит-

ного поля в виде радио- и видеоимпульсов с широким частотным спектром, например, для целей видеолокации и генерирования мощных импульсных СШП электромагнитных полей [2,3]. Для анализа первого случая больше подходит частотное представление основных характеристик антенн, для второго случая – временное представление.

Следует отметить, что для регулярного ТЕМ рупора и для биконической антенны общим является основной тип распространяющейся электромагнитной волны (без учета отражений от их конца) – сферическая ТЕМ волна с фазовым центром в месте схождения их проводников [4]. Это определяется идентичностью физических процессов в них при излучении и приеме электромагнитных сигналов. Отличаются данные антенны по своей сути исключительно видом диаграммы направленности в Н-плоскости (круговым у симметричной биконической антенны и направленным у ТЕМ рупора).

**Основная часть.** Одной из основных характеристик СШП антенн является коэффициент отражения от открытой апертуры, так как временная форма излучаемого импульса электромагнитного поля может существенно отличаться от формы возбуждающего электрического сигнала на входе антенны за счет отражений от апертуры.

Следует отметить, что решение данной задачи непосредственно во временной области численными методами, например методом FDTD и другими методами конечных элементов, возможно для объема, который не превышает несколько длин волн, что существенно ограничивает их практическое применение. Недостатки данных методов особенно проявляются в случае необходимости учета влияния источника и линии передачи на параметры излучаемого СШП сигнала. По этой причине получили развитие схемные подходы решения данной задачи, когда СШП антенна и процессы в ней моделируются некой идеализированной синтезированной схемой замещения, которая должна в максимальной степени моделировать процессы в антенне.

Такой подход не нов, так в работе [5] были предложены схемы замещения для электрически коротких излучателей, что существенно ограничивает их ценность. Для электрически длинных излучателей Щелкуновым была предложена схема замещения на основе сравнения тонкой биконической антенны и диполя с цилиндрическими проводниками [6], что также ограничивает область ее применения. Эти недостатки устранены в схеме замещения биконической антенны, предложенной в [7], которая моделирует частотные зависимости ее входного импеданса в широкой области электрических длин и углов раскрытия: от очень тонкого биконуса до сферической антенны с узкой щелью между электродами.

Эта СШП схема замещения симметричной биконической антенны представлена на рис. 1.

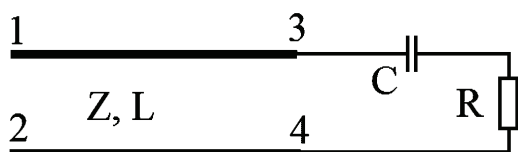


Рисунок 1 – Схема замещения симметричной биконической антенны

При этом биконическая антенна моделируется линией без потерь с волновым сопротивлением  $Z$  и длиной  $L$  (равной длине образующей одного плеча биконической линии), к которой в точках раскрытия 3 и 4 подключено комплексное сопротивление, состоящее из частотнозависимого резистора  $R$  и конденсатора  $C$ . Точки 1 и 2 – точки питания антенны. Частотная зависимость величины  $R$  определялась следующим выражением:

$$R = Z \cdot th^2(kL), \quad (1)$$

где  $k$  – волновое число, равное  $k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi F}{c}$ ;  $F$  – частота;  $c$  – скорость света;  $Z$  – волновое сопротивле-

ние бесконечно длинной биконической антенны.

Величина  $Z$  равна:

$$Z = 120 \ln \left( \cotg \frac{\theta}{2} \right), \quad (2)$$

где  $\theta$  – половина угла при вершине конусного электрода.

Величина  $C$  определяется из следующего выражения для реактивного сопротивления:

$$X_c = -jZ \frac{k_1 L}{kL} \operatorname{tg} \Delta, \quad (3)$$

а величины  $\Delta$  и  $k_1 L$  определяются из соотношения:

$$\Delta = \frac{\pi}{2} - k_1 L = 0,75 \sqrt{\sin 2\theta}. \quad (4)$$

С учетом соотношений (3) и (4) величина емкости  $C$  равна:

$$C = \frac{L}{Z \cdot k_1 L \cdot \operatorname{tg} \Delta}. \quad (5)$$

Выражения (1) – (5) позволяют расчетным путем определить в частотном представлении входной импеданс биконической антенны (точки 1,2) и коэффициент отражения от открытой апертуры только в случае полного согласования биконической антенны со стороны точек 1 и 2.

Подключение же к точкам 1 и 2 линии передачи с подключенным источником питания существенно усложняет решение.

Для распространения данной методики схемотехнического моделирования [5] на временную область и для учета характеристик линии питания и источника питания необходимо исключить из нее частотную зависимость величины  $R$ .

Проведем анализ последствий исключения коэффициента  $th^2(kL)$ , который отвечает за частотную дисперсию величины  $R$ . Из анализа функции  $th^2(kL)$  вытекает, что наибольшее отличие величин  $R$  и  $Z$  будет при малых значениях  $kL$ , то есть для малых частот  $F$  при заданной величине  $L$ . Очевидно, что максимальная длина волны  $\lambda$ , эффективно излучаемая электрически разомкнутой

симметричной антенной с длиной плеча  $L$ , составляет, ориентировочно, величину около  $4L$ , что соответствует  $kL = 25,12$ . Если еще в 10 раз увеличить длину волны (с запасом), то величина  $kL$  будет равна 2,512, а величина  $R = Z \cdot th^2(kL) = 0,9740 Z$ . При таком соотношении величин  $Z$  и  $R$  для бесконечного значения величины  $C$  коэффициент отражения от точек 3 и 4 составляет величину 0,013, что существенно меньше систематических погрешностей данного моделирования и требований к точности инженерных расчетов.

Следовательно, при использовании биконических антенн и ТЕМ рупоров в той частотной области, где они не являются электрически малыми антеннами, частотной зависимостью величины  $R$  можно пренебречь и считать  $R = Z$ .

Данный момент позволяет производить моделирование поведения этих антенн, как в частотном, так и во временном представлении с учетом характеристик источника питания и питающей антенну линии в средах имитационного моделирования Micro-Cap.

Для распространения этой методики на регулярный симметричный TEM рупор необходимо определить две величины:  $Z$  и  $C$ , которые могут быть определены как экспериментально, так и расчетным путем.

Для экспериментального определения величины  $C$  регулярного TEM рупора симметричного типа, представленного на рис. 2, необходимо измерить его электрическую емкость между электродами и вычестить из полученной величины расчетное значение емкости бесконечно длинной Т-линии, образованной его электродами на конечном участке длиной  $L$ .

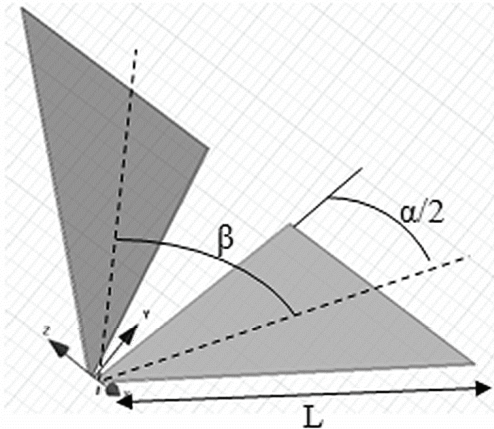


Рисунок 2 – Регулярный симметричный TEM рупор

При этом величина эквивалентной емкости  $C$  для TEM рупора равна:

$$C = C_1 - \frac{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 120\pi L}{Z}, \quad (6)$$

где  $C_1$  – измеренное значение емкости симметричного регулярного TEM рупора с волновым сопротивлением  $Z$  и длиной  $L$ .

Таким образом, имея значения величин  $C$ ,  $C_1$ ,  $Z$ ,  $L$  можно проводить моделирование процессов в биконической симметричной антенне и симметричном регулярном TEM рупоре в частотном и временном представлении.

Для проверки корректности предложенной методики были проведены исследования в частотной области симметричного регулярного TEM рупора с апертурой 100 x 100 мм, коэффициент отражения от открытой апертуры которого был исследован в частотном представлении различными методами в работе [8].

Данный рупор имел следующие характеристики:  $\alpha = 70^\circ$ ;  $\beta = 62^\circ$ ;  $Z = 150$  Ом;  $L = 100$  мм. Измеренная величина  $C_1$  равна 3,17 пФ; рассчитанная по формуле (6) величина  $C$  равна 0,95 пФ.

Приведенные данные были использованы для проведения исследований симметричного регулярного TEM рупора в частотном и временном представлении в имитационной среде Micro-Cap (см. рис. 3).

В этой схеме введение дополнительной линии  $T2$ , аналогичной исследуемой линии  $T1$ , обусловлено необходимостью иметь неискаженную падающую волну напряжения в т. 5 схемы.

При этом коэффициент отражения  $K$  от открытой

апертуры (т. 3 схемы) и в частотном и во временном представлении определяется следующим известным соотношением:

$$K = \frac{U(3) - U(5)}{U(5)}. \quad (7)$$

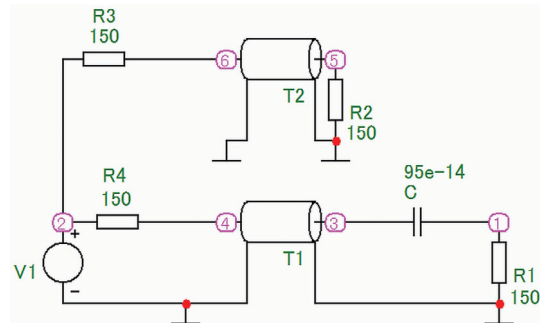


Рисунок 3 – Схема исследований в имитационной среде Micro-Cap

Результаты моделирования в частотном представлении представлены на рис. 4, а для сопоставления на рис. 5 представлены результаты расчетов по данным [8]. Графики 1 и 2 соответствуют рассматриваемому сочетанию параметров рупора ( $\alpha = 70^\circ$ ;  $\beta = 62^\circ$ ;  $Z = 150$  Ом;  $L = 100$  мм, апертура 100x100 мм), а графики 3 и 4 соответствуют величине  $L = 127$  мм. При этом графики 1 и 3 получены в асимптотическом приближении, а 2 и 4 – методом конечных элементов.

Как видно из сопоставления графика на рис. 4 и графиков 1 и 2 на рис. 5, расхождение между ними не превышает 1,2 дБ (14 %), что свидетельствует о корректности предложенной методики.

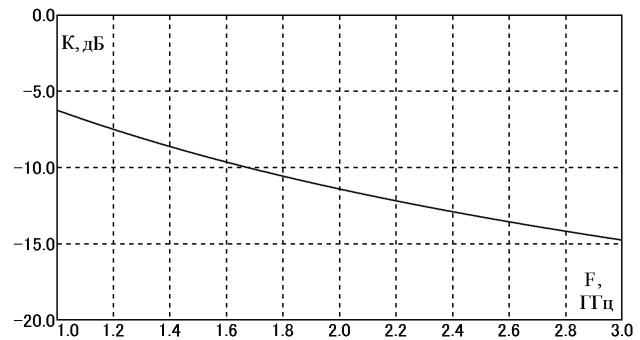


Рисунок 4 – Коэффициент отражения в частотном представлении (моделирование в среде Micro-Cap)

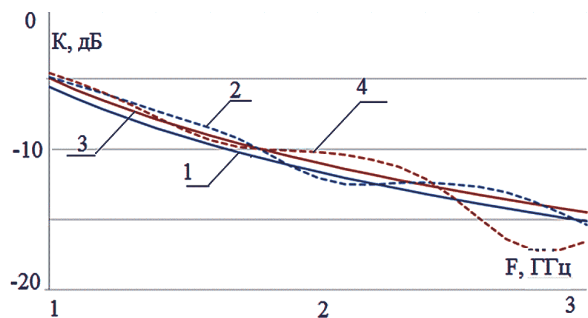


Рисунок 5 – Коэффициент отражения по данным [8] в частотном представлении для различных методов расчета

Полученные во временном представлении результаты по определению коэффициентов отражения и преломления для случая возбуждения ТЕМ рупора импульсом напряжения в виде единичного перепада  $1(t)$  представлены на рис. 6.

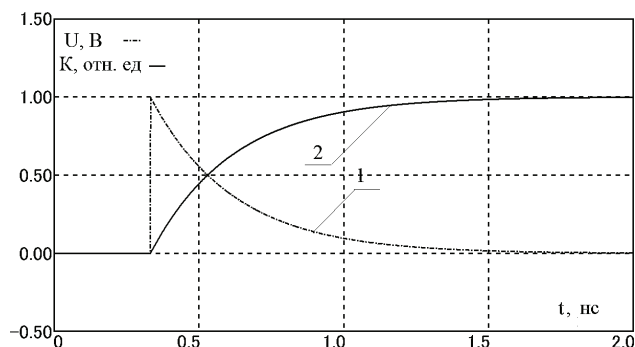


Рисунок 6 – Временная зависимость коэффициента преломления (1) и коэффициента отражения (2) при возбуждении ТЕМ рупора единичным перепадом  $1(t)$

Анализ полученных результатов во временной области свидетельствует о том, что идеальный симметричный регулярный ТЕМ рупор и симметричная биконическая антенна не имеет ограничений по минимальному значению длительности фронта СШП электромагнитного излучения (теоретически он равен нулю и определяется исключительностью корректностью  $T$  – приближения в области его фазового центра). Данным фактом подтверждена сверхширокополосность биконической антенны и ТЕМ рупора не только в частотном представлении (как показано в [7]), но и во временном представлении.

**Заключение.** Разработана и проверена методика имитационного моделирования процессов отражения от апертуры симметричных регулярных биконических антенн и ТЕМ рупоров в частотном и временном представлении.

#### Список литературы

1. Барabanов М.С. Радиоэлектронная борьба. От экспериментов прошлого до решающего фронта будущего / М.С. Барabanов, С.А. Барabanов, В.Б. Барabanов и др.; под ред. Н.А. Колесова и Н.А. Насенкова. – М.: Центр анализа стратегий и технологий, 2015. – 248 с. – ISBN 978-5-9902620-5-8. Интернет: [http://lossles.at.ua/news/radioehlektronnaja\\_borba\\_ot\\_ekhsperimentov\\_proshlogo\\_do\\_reshajush](http://lossles.at.ua/news/radioehlektronnaja_borba_ot_ekhsperimentov_proshlogo_do_reshajush)
2. Калугин Д.С. О визначенні часових характеристик короткоімпульсних антен методом Кірхгофа-Котлера / Д.С. Калугин, М.Г. Іванець, А.М. Безверхий // Системи озброєння і військова техніка. – 2012. – № 4. – С. 99-101. ISSN 1997-9568. Интернет: <http://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/article/2108>
3. Giri D.V. JOLT: a highly directive, very intensive, impulse-like radiator / D.V. Giri, W.L. Baker, W.D. Prather, J.M. Lehr, J.P. O'Laughlin, I.D. Smith, R. Altes, J. Fockler, D.P. McLemore, M.D. Abdalla, M.C. Skipper // Proc. IEEE. – 2004. – № 92. – P. 1096-1109.
4. Коробко А.И. Решение задачи распространения Т – волны в конической линии / А.И. Коробко, З.И. Коробко //

Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск «Електроенергетика та перетворююча техніка». – Х.: ХПУ «ХПІ», 2003. – №1. – С. 109-112.

5. Макурин М.Н. Расчет характеристик биконической антенны методом частичных областей / М.Н. Макурин, Н.П. Макурин // Радиотехника и электроника. – 2007. – Т. 52, № 10. – С. 1199-1208. – ISSN 0033-8494 Интернет: <http://naukarus.com/raschet-harakteristik-bikonicheskoy-antenny-metodom-chastichnyh-oblastey>

6. Щелкунов С.А. Антенны. Пер. с англ. / С.А. Щелкунов, Г. Фриис. Под ред. Бахраха Л.Д. – М.: Сов. радио, 1955. – 604 с.

7. Макурин М.Н. Эквивалентная схема, моделирующая входной импеданс биконической антенны / М.Н. Макурин, В.В. Кирьяшкин, Н.П. Чубинский // III Всероссийская конференция «Радиолокация и радиосвязь» – ИРЭ РАН, 26-30 октября 2009г. Москва. – С. 12-16. Интернет: <http://jre.cplire.ru/jre/library/3conference/pdf/a003.pdf>

8. Калошин В.А. Исследование характеристик ТЕМ рупоров / В.А. Калошин, К.З. Калошин, Х.Ш. Нгуен // Журнал радиоэлектроники, 2015, № 10 (электронный журнал). ISSN 1684-1719. Интернет: <http://jre.cplire.ru/koi/oct15/index.html>

#### References (transliterated)

1. Barabanov M.S., Denisov S.A., Kashin V.B. i dr.; pod red. Kolesova N.A. i Nasenkova N.A. Radioelektronnaja bor'ba. Ot jeksperimentov proshlogo do reshajushhego fronta budushhego. Moscow: Centr analiza strategij i tehnologij, 2015. 248 p. ISBN 978-5-9902620-5-8 Internet: [http://lossles.at.ua/news/radioehlektronnaja\\_borba\\_ot\\_ekhsperimentov\\_proshlogo\\_do\\_reshajush](http://lossles.at.ua/news/radioehlektronnaja_borba_ot_ekhsperimentov_proshlogo_do_reshajush)
2. Kalugin D.S., Ivanec M. G., Bezverhij A. M. O viznachenni chasovih karakteristik korotkoimpul'snih anten metodom Kirhgofa-Kotlera. Sistemi ozbroennja i vijs'kova tehnika. 2012. No 4. pp. 99-101. ISSN 1997-9568 Internet: <http://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/article/2108>
3. Giri D.V., Baker W.L., Prather W.D., Lehr J.M., O'Laughlin J.P., Smith I.D., Altes R., Fockler J., McLemore D.P., Abdalla M.D., Skipper M.C. JOLT: a highly directive, very intensive, impulse-like radiator. Proc. IEEE, No 92, 2004, pp. 1096-1109.
4. Korobko A.I., Korobko Z.I. Reshenie zadachi rasprostraneniya T – volny v konicheskoy linii. Visnik Nacional'nogo tehničnogo universitetu «KhPI». Zbirknik naukovih prac'. Tematichnij vipusk «Elektroenergetika ta peretvorjujucha tehnika». Kharkiv: NTU «KhPI». 2003. No 1. pp. 109-112.
5. Makurin M.N., Chubinskij N.P. Raschet harakteristik bikonicheskoy anteny metodom chastichnyh oblastej. Radiotekhnika i jelektronika. 2007, T. 52, No 10, pp. 1199 -1208. ISSN 0033-8494. Internet: <http://naukarus.com/raschet-harakteristik-bikonicheskoy-antenny-metodom-chastichnyh-oblastey>
6. Shhelkunov S.A., Friis G. Antenny. Per. s angl. Pod red. Bahraha L.D. Moscow: Sov. radio, 1955. 604 p.
7. Makurin M.N., Kir'jashkin V.V., Chubinskij N.P. Jekvivalentnaja shema, modelirujushhaja vhodnoj impedans bikonicheskoy anteny. III Vserossijskaja konferencija «Radiolokacija i radiosvjaz'» – IRJe RAN, 26-30 oktjabrja 2009 g. Moskva, pp. 12-16. Internet: <http://jre.cplire.ru/jre/library/3conference/pdf/a003.pdf>
8. Kaloshin V.A., Nguen K.Z., Nguen H.Sh. Issledovanie harakteristik TEM ruporov. Zhurnal radioelektroniki. 2015, No 10 (jelektronnyj zhurnal). ISSN 1684-1719 Internet: <http://jre.cplire.ru/koi/oct15/index.html>

Поступила (received) 13.11.2016

*Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions*

**Визначення коефіцієнту відбиття від відкритої апертури біконічної антени та регулярного TEM рупору симетричного типу в частотному та часовому представленні шляхом імітаційного моделювання / А. І. Коробко, З. І. Коробко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2016. – № 36 (1208). – С. 42-46. – Бібліогр.: 8 назв. – ISSN 2079-0740.**

**Определение коэффициента отражения от открытой апертуры биконической антенны и регулярного TEM рупора симметричного типа в частотном и временном представлении методом имитационного моделирования/ А.И. Коробко, З.И. Коробко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2016. – № 36 (1208). – С. 42-46. – Бібліогр.: 8 назв. – ISSN 2079-0740.**

**Determination of the coefficient of reflection from the open aperture biconical antenna and regular TEM horn symmetrical type in the frequency and time representation by simulation method / A. I. Korobko, Z. I. Korobko // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Technique and electrophysics of high voltage. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016. – № 36 (1208). – С. 42-46. – Bibliogr.: 8. – ISSN 2079-0740.**

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Коробко Анатолій Іванович** – кандидат технічних наук, завідувач відділу Науково-дослідного і проектно-конструкторського інституту «Молнія», Національний технічний університет «ХПІ», тел.: (057) 707-62-36; e-mail: ant\_korobko@ukr.net

**Коробко Анатолій Іванович** – кандидат технических наук, заведующий отделом Научно-исследовательского и проектно-конструкторского института «Молния», Национальный технический университет «ХПИ», тел.: (057) 707-62-36; e-mail: ant\_korobko@uke.net

**Korobko Anatoliy Ivanovich** – Philosophy Doctor, Head of Department of Research and Design Institute «Molnyia», National Technical University «KhPI», phone: (057) 707-62-36; e-mail: ant\_korobko@ukr.net

**Коробко Зінаїда Іванівна** – науковий співробітник Науково-дослідного і проектно-конструкторського інституту «Молнія», Національний технічний університет «ХПІ», тел.: (057) 707-62-36; e-mail: ant\_korobko@ukr.net

**Коробко Зинаида Ивановна** – научный сотрудник Научно-исследовательского и проектно-конструкторского института «Молния», Национальный технический университет «ХПИ», тел.: (057)707-62-36; e-mail: ant\_korobko@ukr.net

**Korobko Zinaida Ivanovna** – Researcher of Research and Design Institute «Molnyia», National Technical University «KhPI», phone: (057) 707-62-36; e-mail: ant\_korobko@ukr.net

УДК 537.52

**Н. И. КУСКОВА, С. В. ПЕТРИЧЕНКО, П. Л. ЦОЛИН, В. Ю. БАКЛАРЬ****ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ВВОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ВЫХОД УГЛЕРОДНЫХ НАНОПОРОШКОВ ИЗ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ ИХ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОЙ ОБРАБОТКИ**

Представлені експериментальні залежності виходу вуглецевого нанопорошку, отриманого шляхом одночасної електророзрядної обробки органічної рідини і супутніх газів, які при цьому виділяються, а також витрати рідини від енергії одичного розрядного імпульсу в умовах постійності сумарної введеної в міжелектродний проміжок енергії. Для запропонованого способу комбінування початкових умов здійснення розряду показано існування екстремуму залежності виходу з рідини від енергії одичного розряду і протилежний характер аналогічної залежності виходу з газів. При цьому, насичення на кривій витрати рідини зі збільшенням енергії розряду свідчить про збільшення вмісту вуглецю в супутніх газах.

**Ключові слова:** синтез вуглецевих наноматеріалів, вихід вуглецевого нанопорошка, електророзрядна обробка вуглеводню, енергетичні режими електророзрядної обробки, витрата вуглеводневої рідини.

Представлены экспериментальные зависимости выхода углеродного нанопорошка, полученного путем одновременной электроразрядной обработки органической жидкости и сопутствующих газов, которые при этом выделяются, а также расхода жидкости от энергии одичного разрядного импульса в условиях постоянства суммарной введенной в межэлектродный промежуток энергии. Для предложенного способа комбинирования начальных условий осуществления разряда показано существование экстремума зависимости выхода из жидкости от энергии одичного разряда и противоположный характер аналогичной зависимости выхода из газов. При этом, насыщение на кривой расхода жидкости с увеличением энергии разряда свидетельствует об увеличении содержания углерода в сопутствующих газах.

**Ключевые слова:** синтез углеродных наноматериалов, выход углеродного нанопорошка, электроразрядная обработка углеводорода, энергетические режимы электроразрядной обработки, расход углеводородной жидкости.

Experimental dependencies of carbon nanopowder yield obtained by simultaneous electrical discharge treatment of the organic liquid and following gases created during the process, and liquid's consumption rate on single discharge pulse's energy in conditions of constancy of total energy inputted into the interelectrode gap were presented. The existence of extremum for dependence of liquid's yield on single discharge's energy as well as opposite nature of analogous dependence of gazes' yield were shown for the proposed method of combination of initial conditions for discharge realization. Thus, saturation on the liquid's consumption rate curve which