

**Ю. С. Тарасенко**, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри кібербезпеки Університету митної справи та фінансів  
**В. В. Смірнов**, кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерних наук та інженерії програмного забезпечення Університету митної справи та фінансів  
**Б. Б. Стелюк**, кандидат технічних наук, доцент кафедри кібербезпеки та інформаційних технологій Університету митної справи та фінансів  
**Д. І. Прокопович-Ткаченко**, кандидат технічних наук, виконувач обов'язків завідувача кафедри кібербезпеки Університету митної справи та фінансів

### РЕЖИМ БЕЗЕХОВОСТІ В ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІЙ СИСТЕМІ МИТНОГО КОНТРОЛЮ

*Проаналізовано можливість застосування у практиці митного контролю режиму безеховості, створюваного за допомогою нестандартизованих засобів вимірювання у вигляді безехової камери (БЕК). З позицій принципу достовірності підтвердження відповідності, проведено калібрування руспорподібної БЕК як основи додаткового інструментарію в інформаційній системі митного контролю (ІСМК). Поставлено завдання створення банку даних (БД) образів типових об'єктів для впровадження у митну практику методів і засобів радіолокаційного виявлення і розпізнавання. Наведено функціональну схему лабораторної установки з БЕК та подано результати експериментальних досліджень. Запропоновано, використовуючи результати контрольних вимірювань ефективної площі розсіювання каліброваних об'єктів, забезпечувати контроль рівня достовірності вимірювань через апостеріорне їх підтвердження або опротестування.*

Ключові слова: банк даних; образи об'єктів; митний контроль; безехова камера.

© Ю. С. Тарасенко, В. В. Смірнов, Б. Б. Стелюк, Д. І. Прокопович-Ткаченко, 2019

---

*Проанализирована возможность применения в практике таможенного контроля режима безэховости, создаваемого посредством нестандартных средств измерения в виде безэховой камеры. С позиций принципа достоверности подтверждения соответствия проведена калибровка рупорообразной безэховой камеры как основы дополнительного инструментария в информационной системе таможенного контроля. Поставлена задача создания банка данных образов типовых объектов для внедрения в таможенную практику методов и средств радиолокационного обнаружения и распознавания. Представлена функциональная схема лабораторной установки с безэховой камерой, а также результаты экспериментальных исследований. Используя результаты контрольных измерений эффективной площади рассеяния калиброванных объектов, предложено обеспечивать контроль уровня достоверности измерений через апостериорное их подтверждение или опротестование.*

*Ключевые слова: банк данных; образы объектов; таможенный контроль; безэховая камера.*

*The problem of revealing hidden objects (HO) in the implementation of methods and means of radar detection and recognition in the practice of customs control poses the task of creating a database of images of typical HO artificial origin.*

*In order to ensure the reliability of the information expert base of the Customs Information and Measurement System (CIMS), it is advisable to use the anechoic regime created by special methods and methods of its implementation. At the same time, the establishment of the potential level of risk of HO omission (in terms of the concept of acceptable risk in the conditions of uncertainty, given by the corresponding probabilities of false alarm and omission of the object) is a necessary condition for the successful solution of the problem of a priori assessment of the reliability and reliability of detection of HO using CIMS. The fulfillment of the requirement of sufficient information can be confirmed only by experimental methods implemented in conditions that allow to select active and passive interferences in the process of detection of HO customs control.*

*The theoretical description of the principle of operation is given, the functional scheme is described and the laboratory installation of anechoic chamber (AEC) is experimentally investigated to provide the process of creating a database of images of typical HO models and to evaluate the criterion of reliability of potential tactical and technical characteristics of control and measuring equipment (KME). The graph of the radiation power and the electromagnetic field intensity on the axis in the AEC is shown.*

---

*In the process of measuring the effective surface of the sample scattering of the models of calibrated HO, the experimental setup showed its efficiency and it was experimentally proved the basic possibility and efficiency of the use of BEC, which with a high level of screening, are able to provide the mode of attestation of KME not only from the point of view of information security of pairs through detection of electromagnetic radiation and interference, but also by positive control measurements of calibrated volume of HO models in the form of a sphere, as well as to confirm or refute the accuracy of the KME measurements used in customs control.*

*Key words: data bank; images of hidden objects; customs control; anechoic chamber.*

**Постановка проблеми.** Виявлення прихованих об'єктів для впровадження методів і засобів радіолокаційного виявлення і розпізнавання в практику митного контролю ставить завдання створення банку даних (далі – БД) відповідності зображень (ВЗ) типових об'єктів штучного походження. У цьому і полягає проблема дослідження.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для забезпечення достовірності інформаційної експертної бази як підсистеми інформаційної системи митного контролю (далі – ІСМК) доцільно задіяти режим безеховості, створений спеціальними методами і способами його реалізації [1–5]. При цьому встановлення потенційного рівня ризику пропуску прихованих об'єктів (з погляду концепції прийнятного ризику в умовах невизначеності, що задається відповідними можливостями помилкової тривоги  $P_{л.т.}$  і пропуску об'єкта  $P_{np}$ ) – необхідна умова успішного виконання завдання апріорної оцінки достовірності й надійності виявлення прихованих об'єктів за допомогою ІСМК.

Виконання вимоги достатності інформації може бути підтверджено тільки експериментальними методами, реалізованими за умов, що дозволяють селектувати активні й пасивні перешкоди у процесі виявлення прихованих об'єктів митного контролю [1].

Проблема забезпечення достовірності з погляду підтвердження відповідності ІСМК заданим вимогам під час прийняття рішень щодо розпізнавання образів (ідентифікації) та ступеня безпеки прихованих об'єктів досить актуальна і фактично зводиться до оцінки значень критерію достовірності контрольно-виміральної апаратури (далі – КВА) (насамперед це стосується радіоапаратури) з урахуванням методології менеджменту ризику [6].

Остаточний вибір рішення щодо використання КВА може бути оцінений тільки після її експериментальної апробації. В оцінці надійності та достовірності роботи КВА доцільно використовувати режим безеховості. Отже,

---

лише у випадках позитивної реалізації цих двох умов (умов необхідності й достатності) можна стверджувати (за апіорі обумовлених значеннях  $P_{л.т.}$  і  $P_{пр}$ ) про відповідність достовірності й правомірності КВА, використовуваної під час митного контролю.

**Мета статті** – розвиток і застосування принципу достовірності за умови підтвердження відповідності потенційних тактико-технічних характеристик (далі – ТТХ) КВА, призначеної для отримання інформації безпосередньо як від ІСМК, так і від лоційованих об'єктів шляхом вимірювання та контролю вторинного випромінювання (перевипромінювання) від різних каліброваних об'єктів з метою подальшого створення банку образів прихованих об'єктів штучного походження.

**Виклад основного матеріалу.** Принцип вірогідності щодо КВА завжди супроводжує невизначеність, рівень якої окреслює апіорну наявність ризиків неточного вимірювання або невиявлення, наприклад, прихованих об'єктів.

В основі оцінки прийнятності ризику, за аналогією з радіолокаційними методами отримання інформації у вигляді виявлення, вимірювання, дозволу і розпізнавання цих об'єктів спостереження, можуть бути використані відповідні значення  $P_{л.т.}$  і  $P_{пр}$ , доповнені можливостями правильного і неправильного виявлення за критеріями Неймана–Пірсона або ідеального спостерігача [7]. З огляду на це можна трактувати достовірність як ступінь довіри на тлі допустимих ризиків до рівня працездатності КВА.

Очевидний взаємовплив КВА і прихованих об'єктів штучного походження дає змогу конкретизувати перелік можливих факторів, що впливають на достовірність отриманої інформації.

Так, з боку прихованих об'єктів штучного походження можуть виявлятися і суттєво впливати такі фактори:

- протяжність і рельєфність прихованих об'єктів, що призводять до появи цілого ансамблю блискучих точок;

- неоднорідність як самої поверхні відображення прихованих об'єктів, так і наявності декількох (дозволених або які не задовольняють цей критерій) інших об'єктів, що призводять, зі свого боку, до прояву особливостей групового перевипромінювання;

- умови зберігання або маскуванню прихованих об'єктів та ін.

З боку КВА, залежно від особливостей прихованих об'єктів і конкретного виду вимірювань (оптичний, радіохвильовий, рентгенівський, радіаційний тощо), можуть виявлятися фактори, перелік яких різноманітний. Зокрема, це:

- різні методики вимірювань, багатьом із яких також властива невизначеність (наприклад, співзвучні принципам невизначеності у квантовій механіці та радіолокації);

---

– технологічний розкид параметрів і характеристик КВА, що з'являється в процесі тривалої експлуатації і потребує періодичної метрологічної атестації;

– інші не менш значущі чинники, що впливають на достовірність вимірювань за допомогою КВА.

Отже, виходячи з ТТХ КВА і не маючи апіорної інформації про приховані об'єкти штучного походження, доцільність створення банку відповідності прихованих об'єктів з урахуванням їх взаємовпливу в процесі виявлення, вимірювання і розпізнавання останніх, є очевидною. При цьому для чистоти експерименту під час підготовки каталогу образів прихованих об'єктів штучного походження (до таких насамперед належать контрафактні товари народного споживання) рекомендується використовувати режим безеховості, створюваний спеціальними методами і способами, які їх реалізують, наприклад за допомогою безехових камер (далі – БЕК) [1–5].

В основі створення режиму безеховості лежить принцип поглинання відбитого сигналу від будь-якої перешкоди на шляху поширення акустичної або електромагнітної хвилі. Під перешкодою прийнято розуміти будь-яку неоднорідність параметрів середовища, в якому поширюється хвиля. Для електромагнітних хвиль – це будь-яка зміна діелектричної і/або магнітної комплексних проникнень у середовище, що оцінюється як неоднорідність.

Основними факторами, що визначають якість БЕК, є їхні розміри й конфігурації, а також якість застосованого радіопоглинального матеріалу (далі – РПМ).

Головним параметром, що визначає якість БЕК, є коефіцієнт безеховості (далі – КБЕ)  $K_B$ . Чим менше значення паразитних розсіяних полів, тим менший КБЕ і краща якість БЕК.

Робочий обсяг БЕК – це область простору БЕК з апіорі заданим КБЕ, який прийнято також називати безеховою зоною.

Як правило, габаритні розміри безехової зони БЕК визначають експериментально, порівнюючи КБЕ у кожній точці передбачуваної зони вимірювань (досліджень) з апіорі заданим значенням. Для цього використовують співвідношення такого вигляду:

$$K_B = 20 \lg \frac{\sum E_{від.}(x, y, z)}{E_{спад.}}, \quad (1)$$

де  $x, y, z$  – координати знаходження приймальної антени (зонда);

$E_{від.}$  – відбиті напруженості електричного поля;

$E_{спад.}$  – напруженість електричного поля спадної хвилі.

Очевидно, що за будь-якої конфігурації БЕК усякій спадній (первинній) хвилі з напруженістю електричного поля  $\vec{E}_0$  відповідатимуть відбиті від стінок камери вторинні хвилі з відповідними напругами електричних полів у вигляді сукупності  $\vec{E}_1, \vec{E}_2, \dots, E_n$ .

При цьому в будь-якій точці гіпотетичної зони безеховості БЕК значення співвідношення  $\left| \sum_{i=1}^k \vec{E}_i / \vec{E}_0 \right|$  завжди повинно бути меншим, ніж апорію заданий  $K_B$ . Отже, для випадку, коли приймальна антена (зонд) має ізотропну діаграму спрямованості, величину КБЕ (у децибелах) можна безпосередньо оцінити за допомогою співвідношення:

$$K_B = 20 \lg \frac{E_n(x_m, y_k, z_j)}{E_{\text{пр}}}, \quad (2)$$

де  $E_{\text{пр}} = |\vec{E}_0|$  – напруженість спадного поля (прямого променя) передавальної антени в точці спостереження;

$E_n(x_m, y_k, z_j)$  – сума напруженості відбитих хвиль від усіх стінок камери в приймальній точці;

$x_m, y_k, z_j$  – координати розміщення приймальної антени (зонда), де

$$x_m = m\Delta x; y_k = k\Delta y; z_j = j\Delta z.$$

Співвідношення (2) вказують на можливість покрокового переміщення зонда за ортогональними декартовими координатами.

Таким чином, у точці приймання результуючу напруженість електричного поля, зображену у вигляді суперпозиції відбиття від усіх стінок прямокутної камери (а їх 6), можна записати у вигляді:

$$E_z(x_m, y_k, z_j) = \frac{R_n}{F_r(\theta'_n)} \sum_{i=1}^4 F_r(\theta_{ni}) V_r(\varphi_{ni}) \frac{e^{-\sqrt{1-k}(R_{ni}-R_n)}}{R_{ni}} + \frac{R_n}{F_b(\theta'_n)} \sum_{i=5}^6 F_b(\theta_{ni}) V_b(\varphi_{ni}) \cos(\theta'_{ni}) \frac{e^{-\sqrt{1-k}(R_{ni}-R_n)}}{R_{ni}}, \quad (3)$$

де  $n_i$  – сукупність трьох індексів  $m, k, j$ ;

$i$  – номер відбивної стінки (наприклад, у прямокутній камері  $i=1, 2, \dots, 6$ );

$V_{r,b}(\varphi_{ni})$  – френелевські коефіцієнти відбиття від стін БЕК за горизонтальної (індекс “r”) і вертикальної (індекс “b”) поляризацій.

У формулі (3) параметр  $R_{m,k,j}$  – це відстань між передавальною точкою, точкою на  $i$ -й перевипромінювальній стінці та точкою спостереження, обумовленою зі співвідношенням:

$$R_n = \sqrt{(x_0 - x_{ni})^2 + (y_0 - y_{ni})^2 + (z_0 - z_{ni})^2}. \quad (4)$$

Параметр  $R_{ni}$  у формулі (3) – це відстань між приймальною антеною, точкою відбиття на  $i$ -й стінці й точкою спостереження, що задано співвідношенням вигляду:

$$R_{ni} = \sqrt{(x - x_{ni})^2 + (y - y_{ni})^2 + (z - z_{ni})^2} + \sqrt{(x_0 - x_{ni})^2 + (y_0 - y_{ni})^2 + (z_0 - z_{ni})^2}. \quad (5)$$

У поданих формулах (4) і (5) через  $(x_0, y_0, z_0)$  відображено місце розташування передавальної (опроміненої БЕК) антени; а через  $(x_m, y_k, z_j)$  – координату приймального зонда, який можна переміщувати покроково в БЕК, змінюючи координати відповідно до виразів  $x_m = m\Delta x$ ;  $y_k = k\Delta y$ ;  $z_j = j\Delta z$ ; а  $(x_{mi}, y_{ki}, z_{ji})$  – координати точки дзеркального відбиття на  $i$ -й стінці камери.

У формулі (3) через  $F_{г,в}(\theta_{ni})$  уведено діаграми спрямованості передавальної антени для випадків горизонтальної й вертикальної поляризації, де  $\theta_{ni}$  – кут між падаючим променем і віссю передавальної антени, а  $\theta'_{ni}$  – кут між прямим і відбитим променями. При цьому кут падіння променя на  $i$ -ту стіну відображений записом  $\Phi_{ni} = \frac{\pi}{2} - \theta_{ni}$ , а кут між прямим променем і віссю передавальної антени позначений у вигляді  $\theta''_{ni}$ ,

$$\text{де: } \theta''_{ni} = \arcsin(z_j - z_0)/R_n; \quad (6)$$

$$\theta_{ni} = \arctg z_0/(x_{ni} - x_0).$$

Отже, співвідношення (3), яке складається із двох сум, відображає повне перевідбите поле, з яких перша складова ставиться до тих стінок ( $i = 1, 2, 3, 4$ ), щодо яких поляризація спадних хвиль горизонтальна, а друга – до тих стінок ( $i = 5, 6$ ), щодо яких вона вертикальна.

У точці, де вимірюється поле, доцільно використовувати зонд із ізотропною діаграмою спрямованості. Тоді, пересуваючи покроково цей зонд по осях  $(x, y, z)$  камери, можна виміряти повний сигнал у різних точках камери.

Очевидно, що похибка проведених випробувань у БЕК залежатиме від діаграми спрямованості конкретної випромінюваної антени й запропонованої методики оцінки якості БЕК та її робочої зони. При цьому будь-яка методика

експериментального визначення якості БЕК може претендувати лише як на її алгоритм (метрологічною мовою це означає “програма”) оцінки якості, а не на атестацію. У протилежному випадку необхідно задовольнити основні положення метрологічного забезпечення розробки, виготовлення й експлуатації нестандартизованих засобів вимірювань, до яких слід зарахувати БЕК.

Відповідно до програми атестації необхідно визначити діапазон робочих частот БЕК, її КБЕ, “уявну” ефективну площу розсіювання (ЕПР або ЕВП – ефективна відбивна поверхня) БЕК, розміри безехової зони й ефективність екранування, застосовуючи, наприклад, методи визначення рівня відбитих сигналів у БЕК у процесі випробування конкретної спрямованої антени, а саме [1; 7]:

- метод порівняння діаграм;
- метод визначення коефіцієнта стоячої хвилі у вільному просторі;
- метод когерентної Фур’є-оптики або
- радіоголографічний метод.

Для процесу створення банку ВЗ відповідних типових моделей прихованих об’єктів і достовірності ТТК КВА запропоновано лабораторну установку з БЕК, функціональну схему якої зображено на рис. 1.

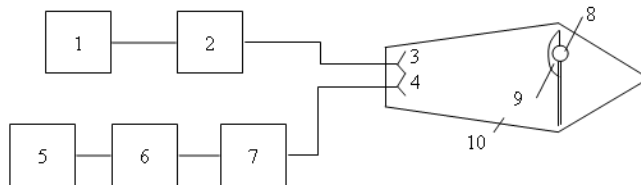


Рис. 1. Функціональна схема лабораторної установки з БЕК

Ураховуючи, що задня стінка БЕК є основним джерелом паразитних відбиттів, то у нашому випадку вона виготовлена у вигляді рупора, покритого РПМ типу В2-Ф3 із коефіцієнтом відбиття за потужністю  $K_M = 0,05$  (– 13 дБ).

Розміри застосовуваної БЕК обиралися за умови, що вимірювання (мм) моделей прихованих об’єктів повинні проводитися на відстані від прийнятно-передавальних антен порядку  $R = 60-70$  см. Така відстань задовольняє критерій дальньої зони для застосовуваних антен рупорного типу з розкритвом  $8 \times 8$  см<sup>2</sup> або  $15 \times 16$  см<sup>2</sup> і з робочим обсягом близько 4100 см<sup>3</sup> за середньої довжини хвилі 4 см.

Згідно з цими умовами, БЕК у вигляді зрізаної чотирикутної піраміди мала такі розміри: висота камери – 220 см, нижній перетин камери  $40 \times 40$  см<sup>2</sup>, висота рупора задньої стінки БЕК –  $h = 30$  см.

Для кріплення й переміщення моделей радіолокаційних цілей було змонтовано спеціально розроблений координатник. Для заміни моделей пе-



редбачено відкидну стінку. На задній стінці БЕК безпосередньо кріпилися хвилеводні елементи приймально-передавального тракту установки.

За  $\lambda=4,3$  см КБЕ камери становив  $-47$  дБ, а за  $\lambda = 3$  см відповідно  $-50$  дБ. В інших точках робочого діапазону КБЕ був не гірший ( $-35$  дБ). Відбитий сигнал від вимірюваних моделей перевершував фоновий сигнал, до складу якого входив і сигнал, відбитий від опори кріплення моделі, на  $50$  дБ. При цьому емпірично обмірювана розв'язка між приймальною (4) й передавальною (5) антенами, відстань між крайками апертур яких  $-0,5$  см, становила відповідно  $-6$  дБ і  $-48$  дБ на довжинах хвиль  $4,3$  см і  $3$  см (рис. 2).

Робота експериментальної установки здійснювалася в такий спосіб.

Надвисокочастотна енергія від генератора 1 через феритовий вентиль 2 потрапляє на передавальну антену 3, умонтовану всередині БЕК, і, випромінюючись, падає на модель радіолокаційної цілі, закріпленої на опорі. Далі відбитий сигнал від моделі надходить на приймальну антену 4, а потім через узгоджувальний трансформатор 7 – на детекторну секцію 6. Продетектований сигнал підсилюється підсилювачем 5 і фіксується або стрілочним приладом підсилювача, або самописним потенціометром і осцилографічним індикатором. З переходом від одного частотного діапазону вимірювань до іншого проводилась відповідна зміна рупорних антен.

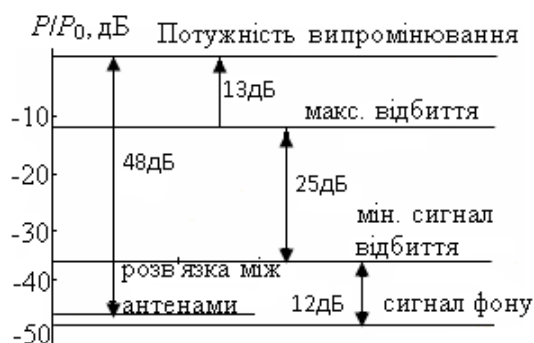


Рис. 2. Графік потужності випромінювання

Метод вимірювання ефективної поверхні зразкового розсіювання (далі – ЕПЗР) моделей на даній установці базується на вимірюванні потужностей у дальній зоні відповідно до рівняння радіолокації, записаного у вигляді, що задовольняє критерій дальньої зони, тобто:

$$R \geq pA^2 / \lambda, \quad (7)$$

де  $p > 1$ ;

$A$  – довжина найбільшої сторони апертури випромінювальної антени;

$\lambda$  – довжина хвилі.

---

Зокрема, у випадку вимірювання ЕПЗР опуклих тіл дана відстань може бути значно меншою, ніж та, яка визначається за формулою (7) [1; 7]. Це обумовлено тим, що поле трансформується до плоского фронту хвилі в міру його локалізації до осі симетрії антени. Крім того, для визначення ЕПЗР реальних об'єктів на надвисоких частотах (далі – НВЧ) в лабораторних умовах доцільно використовувати моделювання. У цьому випадку мають виконуватися так звані умови електродинамічного моделювання [1; 7], які можуть бути записані у вигляді таких співвідношень:

$$\varepsilon = \varepsilon_M; \quad \mu = \mu_M; \quad f / f_M = \lambda / \lambda_M = \ell / \ell_M = M; \quad S = S_M M^2, \quad (8)$$

де  $\varepsilon$  і  $\mu$  – відповідно діелектрична й магнітна проникності об'єкта дослідження;

$\varepsilon_M$  і  $\mu_M$  – відповідно діелектрична й магнітна проникності моделі тіла;

$f$  і  $\lambda$  – відповідно частота й довжина хвилі радіолокаційної станції;

$f_M$  і  $\lambda_M$  – відповідно частота й довжина хвилі моделі РЛС;

$\ell$  і  $\ell_M$  – відповідно розміри тіла і його моделі;

$M$  – масштаб моделі;

$S$  і  $S_M$  – відповідно ЕПЗР досліджуваного об'єкта і його моделі.

Очевидно, що, обираючи схему лабораторних установок у процесі вимірювання ЕПЗР моделей цілей, необхідно забезпечувати належну розв'язку між НВЧ-генератором і приймачем установки. Причому схема приймально-передавального тракту з однією антеною дозволяє лише з прийнятною точністю робити вимірювання щодо більших значень ЕПЗР.

У разі вимірювання малих значень ЕПЗР навіть у вузькому діапазоні частот супутні похибки найчастіше виходять за рамки прийнятних, оскільки сучасне розв'язувальне обладнання (спрямовані відгалужувачі, подвійні трійникові мости, циркулятори) не забезпечує належного розв'язання між передавальними й приймальними трактами. З огляду на це всі наведені нижче результати експериментального дослідження ЕПЗР об'єктів/цілей були одержані на лабораторній установці з двома антенами: передавальною і приймальною, розташованими поруч, що автоматично забезпечувало розв'язку між відповідними каналами не менше 30 дБ.

При цьому, зважаючи на квадратичність вольтамперної характеристики детектора, фіксувалися величини, безпосередньо пропорційні відбитим потужностям. Як оцінки експериментальної установки були проведені вимірювання напруженості електромагнітного поля на осі БЕК, відбитого від пасивного відбивача у вигляді металевого диска радіусом  $R_l = 3,3$  см, який переміщувався по осі БЕК.

Залежність потужності відбитого сигналу  $P^{(-)}$ , нормованої до потужності випромінюваного сигналу  $P^{(+)}$ , від відстані  $R$  зображена на рис. 3, де крива 1 відповідає експериментальним вимірюванням у БЕК; крива 2 розрахована за формулою, записаною у вигляді рівняння радіолокації [1; 7]:

$$P^{(-)} / P^{(+)} = \frac{G^2 \lambda^2 S}{(4\pi)^2 R^4}, \quad (9)$$

де  $P^{(+)}$  – випромінювана потужність;  
 $P^{(-)}$  – прийнята (відбита) потужність;  
 $G$  – коефіцієнт підсилення антени;  
 $S$  – величина ЕПЗР об'єкта дифракції;  
 $R$  – відстань від об'єкта до апертури приймальної антени.

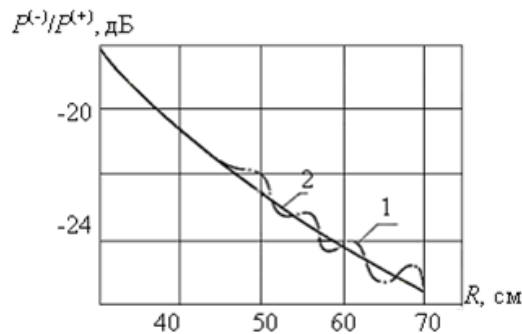


Рис. 3. Напруженості електромагнітного поля на осі БЕК

Порівняння кривих показує, що відхилення експериментальної кривої 1 від кривої 2 не перевищує 2 дБ. При цьому до основних похибок у вимірюваннях діаграм зразкового розсіювання (далі – ДЗР) моделей на даній експериментальній установці слід зарахувати такі:

- похибка, спричинена наявністю фону від стінок БЕК, яка не перевищувала 2,5 дБ;
- похибка, пов'язана з просочуванням паразитного сигналу НВЧ потужності з передавальної антени в приймальну;
- похибка, обумовлена варіацією фази від осі випромінювання до периферії, що не перевищувала  $\pi/4$ , а також зміною амплітуди на периферії розсіювача, що не перевищувала 2 дБ.

Інтегральну оцінку похибки експериментальної установки нескладно здійснити, порівнюючи розрахункові значення ЕПР моделей конкретного виду об'єктів з експериментально одержаними об'єктами. У нашому випадку таку оцінку було здійснено для моделей, що являють собою металевий циліндр радіусом  $R_1 = 1,5$  см і довжиною  $L = 5$  см, металеву сферу радіуса 3 см, а також металевий диск радіусом 3,3 см на частоті 10 ГГц.

---

Так, розрахункове значення ЕПЗР металевого диска радіусом 3,3 см за нормального падіння на нього електромагнітної хвилі становить  $1630 \text{ см}^2$ . Водночас для цього ж диска, розташованого на відстані  $R = 70 \text{ см}$  від апертури антен по осі випромінювання, вимірюване значення  $P^{(-)}/P^{(+)}$  було визначено у вигляді значення  $7 \cdot 10^{-4}$ . Звідси, використовуючи рівняння радіолокації у вигляді (9), одержимо емпіричну величину ЕПЗР металевого диска з радіусом 3,3 см за нормального падіння електромагнітної хвилі, що дорівнює  $1400 \text{ см}^2$ .

**Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі.** Отже, зіставляючи значення диска, одержані розрахунковим і емпіричним шляхом, бачимо, що їхні значення різняться на 14 %. Крім того, використовуючи металевий диск як еталонний розсіювач, можна здійснювати оцінку поведінки ЕПЗР моделей складнішої геометрії. У цілому в подальшому процесі вимірювання ЕПЗР моделей каліброваних цілей (у вигляді сфери та циліндра) ця експериментальна установка, БЕК якої також має високий рівень екранування, показала якісні результати.

Так само можна провести більш суворий необхідний режим атестації задіяної КВА не тільки з погляду їх інформаційної захищеності через виявлення власних супутніх паразитних електромагнітних випромінювань і наведень, але й за контрольними вимірами ЕПЗР каліброваних об'єктів, забезпечити контроль рівня достовірності вимірювань за допомогою цієї КВА через апостеріорне їх підтвердження або спростування.

#### **Список використаних джерел:**

1. *Тарасенко Ю. С.* Фізичні основи радіолокації. Дніпро: Пороги, 2011. 487 с.
2. *Маслов М. Ю., Самоков Л. М., Скачков Д. В.* Испытательная безэховая камера диапазона 30.1200 МГц // Технологии информационного общества: Спецвыпуск Т-Сотт, 2009, август. С. 123–128.
3. *Наконечный В. С., Присяжный А. Е., Побережный А. А.* Электродинамическое моделирование с использованием безэховых камер СВЧ. Методика оценки коэффициента безэховости // Системы обработки информации. 2005. Вып. 9 (49). С.116–123.
4. *Балабуха Н. П., Меньших Н. Л., Солосин В. С.* Электромагнитное моделирование низкочастотной рупорной безэховой камеры // Четырнадцатая ежегодная научная конференция ИТПЭ РАН при поддержке IEEE-APSL-LEOS-CHARTER: Сборник тезисов докладов. Москва: ИТПЭ РАН, 2014. С. 51–53.
5. *Никитенко А. В., Зубов А. С., Булычев Е. В.* Моделирование отражения электромагнитных волн от радиопоглощающего материала пирамидальной формы // Пятнадцатая ежегодная научная конференция ИТПЭ РАН

---

при поддержке IEEE-APS-LEOS-CHAPTER: сборник тезисов докладов. Москва: ИТПЭ РАН, 2014. С. 43.

6. Строганова Е. П. Развитие принципа достоверности подтверждения соответствия // Технологии информационного общества: спецвыпуск. Т-Comm, 2009, август. С. 138–140.

7. Радиоэлектронные системы: основы построения и теория: справочник / под ред. Я. Д. Ширмана. Москва: Радиотехника, 2007. 512 с.

#### References:

1. Tarasenko Yu. S. (2011), *Fizychni osnovy radiolokatsiyi* [Physical basis of radar]. Dnipro: Thresholds. 487 p.

2. Maslov M. Yu., Samokov L. M. and Skachkov D. V. (2009), *Ispytatel'naya bezekhovaya kamera diapazona 30..1200 MGts* [Test anechoic chamber of the range 30-1200 MHz], *Tekhnologii informatsionnogo obshchestva: Spetsvyпуск T-Comm* [Information society technologies. Special Issue T-Comm], August, pp. 123–128.

3. Nakonechnyy V. S., Prisyazhnyy A. Ye. and Poberezhnyy A. A. (2005), “*Elektrodinamicheskoye modelirovaniye s ispol'zovaniyem bezekhovyykh kamer SVCH. Metodika otsenki koeffitsiyenta bezekhovosti*” [“Electrodynamic modeling using anechoic microwave cameras. Methodology for assessing the coefficient of anechoicity”], *Journal Sistemi obrobki informatsii* [Information Processing Systems], vol. 9 (49), pp. 116–123.

4. Balabukha N. P., Menshikh N. L. and Solosin V. S. (2014), “*Elektromagnitnoye modelirovaniye nizkochastotnoy rupornoй bezekhovoy kamery*” [“Electromagnetic modeling of a low-frequency hornless anechoic chamber”]. 14th Annual Scientific Conference of the ITPE RAS with the IEEE-APS-LEOS-CHAPTER support, Collection of Abstracts, Press ITPE RAS, Moscow, pp. 51–53.

5. Nikitenko A. V., Zubov A. S. and Bulychev E. V. (2014), “*Modelirovaniye otrazheniya elektromagnitnykh voln ot radiopoglashchayushchego materiala piramidal'noy formy*” [“Modeling of reflection of electromagnetic waves from radio absorbing material of pyramidal shape”], 15th Annual Scientific Conference of the ITPE RAS with the of IEEE-APS-LEOS-CHAPTER support, Collection of Abstracts, Press ITPE RAS, Moscow, p. 43

6. Stroganova Ye. P. (2009), “*Razvitiye printsipa dostovernosti podtverzhdeniya sootvetstviya*” [“Development of the reliability principle of confirmation of conformity”], *Journal Tekhnologii informatsionnogo obshchestva: spetsvyпуск* [Technologies of the Information Society. Special Issue T-Comm], August, pp. 138–140.

7. Edited by Shirman Ya. D. (2007), *Radioelektronnyye sistemy: osnovy postroyeniya i teoriya* [Radio-electronic systems: the basics of construction and theory], Reference Book, Press Radiotekhnika, Moscow, 512 p.