

УДК 316.776:351.741:34:650.0128

І.О. Громико, В.Я. Певнев, М.М. Борзов

Харківський національний університет внутрішніх справ, Харків

## ВПЛИВ АКУСТИЧНИХ КОЛИВАНЬ ПРУЖНОГО СЕРЕДОВИЩА НА ІНФОРМАЦІЙНИЙ ЗМІСТ ВІДБИТОГО ЛАЗЕРНОГО ПРОМЕНЮ

У статті розглянута сутність некоректності підходів до вивчення процесу перехоплення інформації з віконного скла за допомогою лазерного променя. Шляхом моделювання процесу доведена необхідність створення нової моделі, що дозволить розробити ряд методів протидії.

**Ключові слова:** інформація, несанкціонований доступ до інформації, лазерний промінь, акустична розвідка.

### Вступ

Бурхливий розвиток наукових досліджень в області нанотехнологій істотно вплинув на розробку систем і засобів, що використовуються розвідниками, працівниками силових структур, конкурентами і криміналом для несанкціонованого власником інформації доступу (НСД) до інформаційних ресурсів. Одним з класів таких систем є лазерні системи акустичної розвідки (ЛСАР). Вони дозволяють перехоплювати на порівняно великих відстанях акустичну інформацію з віконного скла та інших відбиваючих світло предметів службових приміщень [1].

**Проблема у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.** Аналіз робіт в галузі поширення інформації показує, що дослідники спрощують моделі перехоплення інформації і тим самим ідеалізують реальну ситуацію [2]. Ідеалізація полягає у тому, що враховуються не всі фізичні процеси і специфічний стан носіїв інформації.

Це, з часом, вплинуло на розробку апаратури перспективних ЛСАР, їх функціональний склад і принципове наповнення радіокомпонентами. В результаті практична відстань знімання акустичної інформації з допомогою ЛСАР виявилась обмеженою відстанню близько кілометра, а боротьба з протидією перехопленню інформації звалася до «зашумлення» скла, нанесення на його поверхню спеціальних покриттів (шарів), застосування звукопоглинальних екранів всередині приміщення і штор типу «жалюзі» ззовні.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Розглянемо два варіанти основних підходів до вивчення основ лазерного знімання інформації, які відображають істоту питань перехоплення інформації та протидії цьому перехопленню.

У першому підході прийнято вважати, що при використанні ЛСАР для прослуховування розмов, що ведуться в приміщеннях, відбитий лазерний промінь сканується по поверхні вхідного вікна фотоприймача завдяки деформації віконного скла під

тиском повітряної акустичної хвилі [2].

У другому підході вважається, що віконне скло, як мембрана, коливається зі звуковою частотою під тиском акустичних хвиль. Лазерний промінь передавача, пройшовши сотні метрів в атмосфері, відбивається від поверхні віконного скла і, при цьому, модулюється акустичним сигналом. Сенса модюляції полягає в набутті різних миттєвих фазових змін, що набуває відбитий промінь через примусовий зсув в просторі поверхні мембрани віконного скла під тиском акустичної хвилі [3].

**Метою статті** є доказ існування деяких некоректних міркувань дослідників, які використовують той або інший варіант підходів, що дозволяє авторам статті стверджувати про необхідність розробки третього оригінального підходу, який дозволить повному підійти до процесу зняття інформації з віконного скла службових приміщень. Мета статті досягнута шляхом реального моделювання процесу мікрозсувів скла по осі z, яка перпендикулярна площині віконного вікна та оцінки величини відхилення лазерного проміня на приймальному боці.

### Основна частина

У простому випадку рівняння для акустичної хвилі має вигляд [2]:

$$\vec{V} = A_{V_m} \exp[i(\Omega_{зв} - \vec{k}\vec{r})], \quad (1)$$

де  $V = \frac{\partial z_B}{\partial t}$  – швидкість коливань частинок повітря;

$z_c$  – зсув частинок повітря під дією звукового тиску;  $A_{V_m}$  – амплітуда швидкості коливань частинок;  $\Omega_{зв}$  – кутова частота коливань,  $\Omega_{зв} = 2\pi f_{зв}$ ;  $f_{зв}$  – частота акустичної звукової хвилі;  $k$  – хвильове число,

$k = \frac{\Omega_{зв}}{V_{зв}}$ ;  $V_{зв}$  – швидкість поширення звуку в повітрі;  $r$  – радіус-вектор.

Це типове хвильове рівняння описує плоску монохроматичному пружну хвилю, що поширюється в напрямку осі z від співрозмовників, розташованих поряд з вікном (амплітуда звукового тиску та

швидкість коливань частинок носія інформації – повітря – практично не залежать від відстані, пройденого хвилею).

Заломлення звукової хвилі на межі розділу повітря – скло призводить до того, що частина енергії перерозподіляється між відбитою хвилею та хвилею, що проникла в товщу скла. Ступінь перерозподілу енергії залежить від співвідношення акустичних опорів повітря і скла.

З метою визначення параметрів деформації скла, проаналізовано хвильове рівняння з урахуванням внутрішніх механічних напружень, пружність і щільність повітря і скла. Рішення рівняння показало, що у склі під тиском повітряної акустичної хвилі породжуються три хвилі:

– поздовжня хвиля по осі  $z$ , яка перпендикулярна до площини скла та її швидкість поширення перевищує однакові швидкості поперечних хвиль;

– дві поперечні хвилі в площині скла по осях  $x$  та  $y$ .

Отримані результати справедливі, якщо розмір скла необмежений по осевим напрямкам.

Однак, оскільки:

– знімання інформації здійснюється з віконного скла, поверхня якого обмежена;

– товщина скла у напрямку  $z$  мала, в порівнянні з його розмірами у двох інших напрямках:  $x$  та  $y$ ;

– довжина акустичної хвилі велика, порівняно з товщиною скла,

– за математичну модель можна прийняти відомі рівняння деформації тонкої пластинки.

У нашому випадку деформації вважаються малими. Критерієм "малості" деформацій є зневажливо мале зміщення точок пластини по осі  $z$ , в порівнянні з її товщиною.

Подібні математичні моделі в області механіки неодноразово досліджувалися. Було отримано вираз для повної вільної енергії ( $F_{пл}$ ) деформованої скляної пластинки у вигляді [2]:

$$F_{пл} = \frac{E \cdot h^3}{24(1-\nu^2)} \times \iint \left\{ \left( \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial y^2} \right) + 2(1-\nu) \left[ \left( \frac{\partial^2 \xi}{\partial x \partial y} \right)^2 - \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} \frac{\partial^2 \xi}{\partial y^2} \right] \right\} \partial x \partial y, \quad (2)$$

де  $h$  – товщина скляної пластинки;  $\xi$  – зміщення частинок (точок) скла вздовж осі  $z$  (деформація);  $E$  – модуль Юнга;  $\nu$  – коефіцієнт Пуассона.

Вираз отримано з умови, що площина  $x$ ,  $y$  – збігається з площиною недеформованої скляної пластинки, компоненти зміщення точок у площині  $x$ ,  $y$  є величинами другого порядку малості у порівнянні з  $\xi$  і можуть бути прирівняні до нуля.

Очевидно, що форма, яка приймається пластинкою під впливом прикладених сил, (величина  $\xi$ ) є зміщенням точок пластинки, яка розглядається як поверхня при її згинанні.

Слід враховувати, що хвилі, які поширюються в таких тонких пластинках як віконне скло, істотно відрізняються від хвиль, що поширюються в необмеженому середовищі.

Враховуючи, що рівняння, яке описує жорсткість  $D$  пластинки описується виразом:

$$D = \frac{E \cdot h^3}{12(1-\nu^2)}, \quad (3)$$

для випадку круглої пластинки результат рішення задачі деформації виглядає як:

$$\xi = \frac{f}{8\pi D} \left[ \frac{1}{2} |R^2 - r^2| - r^2 \ln \frac{R}{r} \right], \quad (4)$$

де  $f$  – прикладена сила;  $R$  – радіус пластинки;  $r$  – відстань в метрах між джерелом звуку і вікном.

Оцінка величини деформації віконного скла з використанням рівнянь (1) – (4) показує, що деформація віконного скла дорівнюється  $\xi = 4,7789 \cdot 10^{-5}$  м для величин складових:

$\nu = 0,25$  – табличне значення коефіцієнта Пуассона для скла;

$E = 50 \cdot 10^9$  Па – табличне значення модуля Юнга для скла;

$h = 3 \cdot 10^{-3}$  м – товщина скла, обрана самостійно;

$R = 0,5$  м – радіус (круглого, згідно математичної моделі) вікна, обраний самостійно;

$f = P \cdot S = 0,03925$  Н – сила, що діє на поверхню скла, площею

$S = \pi \cdot R^2 = 0,785$  м<sup>2</sup> при тиску  $P = 0,05$  Па, відповідному нормальній людській мові;

$D = 120$  Н·м – жорсткість скла, обчислена за формулою (3).

Для величини деформації віконного скла  $\xi = 4,7789 \cdot 10^{-5}$  м визначимо величину відхилення лазерного променя по площині приймача оптичного випромінювання (фотоприймача) при самому ідеальному для знімання інформації збігу обставин. Тобто, – за ситуації, коли перпендикулярний площині скла і нескінченно тонкий паралельний падаючий на скло промінь зміщений щодо центру вікна на зневажливо малу відстань (більш радіусу проміну). При цьому вікно з яких-небудь причин під тиском акустичної хвилі набрало форму зламу.

Очевидно, що такі ідеальні умови дозволяють максимально змінити падаючий кут (траєкторію відбитого проміну) між променем й поверхнею скла, як це показано на рис. 1. Зрозуміло, що будь-яка зміна параметрів такої моделі у бік «деідеалізації» процесу призведе до зменшення кута відхилення падаючого лазерного променя. Наприклад, – зміна форми деформації віконного скла – з «ламаного» на «сферичну» форму.

З рис. 1 випливає, що для променя ЛСАР, перпендикулярного площині віконного скла, відхилення скла на кут  $\alpha$  під тиском  $P$  призводить до відхилення відбитого променя на кут  $2\alpha$ .

Визначимо кут відхилення променя, відбитого деформованим склом у бік фотоприймача ЛСАР:

$$\tan \alpha = \frac{\xi}{R} \cong \frac{5 \times 10^{-5}}{5 \times 10^{-1}} \cong 10^{-4}. \quad (5)$$

Звідси  $\alpha \cong 0,0001000000003$  град

Кут відхилення променя деформованою поверхнею складе:  $2\alpha = 0,0002000000006$  градусів або  $0,0000034906585$  рад =  $3,4 \cdot 10^{-6}$  рад = 3,4 мкрад.

Така величина відхилення променя на кілька порядків менше самої розбіжності променя сучасних лазерів, наприклад [4].



Рис. 1. Ідеальний (найгірший для працівників системи ТЗІ) випадок, коли умови найвигідніші для перехоплення інформації з поверхні скла

При куті 3,4 мкрад, для сучасної розвідувальної апаратури ЛСАР РКІ – 3100 відхилення проміну деформованою поверхнею скла складе близько 40 мікрометрів, хоча при розбіжності променя лазера 0,5 мрад на відстані 100 метрів промінь розширюється в діаметрі до 5 сантиметрів. При такій розбіжності на приймальній стороні, за умови ідеально плоскій поверхні скла, що відбиває, діаметр проміну становить не менше 20 сантиметрів.

Така величина відхилення променя тиском звукової хвилі на скло, істотно нижче за рівень механічних коливань приймальної апаратури, викликаних впливом чинників навколишнього середовища (тремтіння рук та подих оператора, вітрове навантаження, вібрації опорної триніги лазера та ін.).

Якщо ж прийняти точку зору прихильників другого підходу і зменшити значення величини деформації скла до  $\xi = 0,8 \dots 25$  нм [3], то відхилення променя поверхнею скла стає зневажливо малим і знімання інформації з застосуванням першого варіанту стає проблематичним або нездійсненним. У цьому випадку на відстанях в сотні метрів і при дії «неідеалізованих» чинників навколишнього середовища, знімання інформації стає можливим тільки в лабора-

торних умовах. Випадкова зміна величини набігу фази стає такою, що тільки про поперечний переріз променя в інтегральному сенсі можна говорити як про псевдо-стабільну структуру. Зображення заповнено плямистою структурою спеклів, яка дуже нестабільна через неоднорідності повітряного середовища та неідеальність відбиваючої поверхні скла.

## Висновки

1. Проведений аналіз дозволяє стверджувати, що обидва варіанти вищевикладених підходів до питання моделювання процесу зняття інформації з віконного скла за допомогою лазерного променя мають суттєві вади.

2. Очевидно, що обидва варіанти, і фазовий зсув відбитого променя щодо опорного, і сканування відбитого променя по поверхні фотоприймача, – не можна заперечувати. Їхній внесок в інформаційну компоненту існує, але він, як показали розрахунки, не є домінуючим.

3. Приведений вище матеріал є доказом існування іншого (третього) варіанта дослідження реального процесу відбиття лазерного проміну, який дозволить розкрити реальну картину процесу дистанційного зняття інформації з віконного скла.

## Список літератури

1. Хорев А.А. Защита информации от утечки по техническим каналам. Часть 1. Технические каналы утечки информации: учебное пособие / А.А. Хорев. – М.: Гостехкомиссия России, 1998. – 320 с.
2. Изучение лазерного устройства, обеспечивающего регистрацию разговоров, ведущихся в помещениях. [Электронный ресурс]. – Режим доступа к документу: <http://www.studfiles.ru/dir/cat32/subj1348/file14451/view148775.html>.
3. Технические средства и методы защиты информации: учебное пособие для вузов / А.П. Зайцев, А.А. Шелупанов, Р.В. Мецьяков и др.; под ред. А.П. Зайцева и А.А. Шелупанова. – 4-е изд., испр. и доп. – М.: Горячая линия-Телеком, 2009. – 616 с: ил.
4. High Performance Laser Diodes. [Электронный ресурс]. – Режим доступа к док.: <http://www.axcelphotonics.com/products.html>.

Надійшла до редколегії 26.03.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.А. Лужецький, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

## ВЛИЯНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ УПРУГОЙ СРЕДЫ НА ИНФОРМАЦИОННОЕ СОДЕРЖАНИЕ ОТРАЖЕННОГО ЛАЗЕРНОГО ЛУЧА

И.А. Громыко, В.Я. Певнев, М.Н. Борзов

В статье рассмотрена сущность некорректности подходов к изучению процесса перехвата информации с оконного стекла с помощью лазерного луча. Путем моделирования процесса доказана необходимость создания новой модели, которая позволит разработать ряд методов противодействия.

**Ключевые слова:** информация, несанкционированный доступ к информации, лазерный луч, акустическая разведка.

## EFFECT OF ACOUSTICAL FLUCTUATIONS ELASTIC MEDIA INFORMATION ON THE CONTENTS REFLECTED LASER BEAM

I.O. Gromyko, V.Ya. Pevnev, M.M. Borzov

The article deals with the essence of incorrectness of approaches to study the process of interception of window glass by laser beam. Through simulation proved the need to create a new model that will develop a number of methods of counterwork.

**Keywords:** information, unauthorized access to information, the laser beam and acoustic survey.