

## ОЦІНЮВАННЯ ВІРОГІДНОСТІ ВИЯВЛЕННЯ ПОРУШЕННЯ СТАНУ ОБ'ЄКТУ

© Погребенник В.Д., Політило Р.В., 2012

**Розглянуто типові параметри сенсорів охоронних систем, які характеризують належну якість виявлення факту проникнення на об'єкт. Оцінено зміни ймовірності виявлення порушення стану об'єкту у залежності від числа спостережень, відстані та різних швидкостей порушника.**

**Typical parameters of sensor of security systems that characterize good quality detection of the penetration of an object. By changing the probability of detecting a violation of the object depending on the number of observations, distances and different speeds of the offender.**

**Вступ.** Типовими параметрами сенсорів охоронних систем, які характеризують належну якість виявлення факту проникнення на об'єкт, що охороняється, є ймовірність правильного виявлення, ймовірність помилкового спрацювання та чутливість сенсора [1].

Ймовірність правильного виявлення  $P_D$  – ймовірність того, що сенсор спрацює при проникненні порушника в охоронну зону.  $P_D$  – величина статистична, оцінюється за результатами серії випробувань і, як наслідок, залежить від прийнятої методики випробувань. Слід відзначити, що якщо вказати, наприклад,  $P_D = 0,9$ , то воно буде некоректним. У специфікації сенсора повинен бути обумовлений сценарій проникнення, тобто зовнішні умови, модель порушника (який повзе, зі швидкістю 0,5 м/с і т.д.). Крім того, необхідно знати методику оцінювання  $P_D$ . Тоді модель виявлення описується двома параметрами: ймовірністю виявлення і довірчим інтервалом  $C_L$ , тобто сенсор буде виявляти з ймовірністю  $P_D$  на рівні  $C_L$ . Але звичайно така повна інформація звичайно недоступна. У більшості випадків приходиться задовольнитися значенням  $P_D$ , яке слід вважати умовним, яке ґрунтується на припущеннях.

Ймовірність хибної тривоги – ймовірність того, що за час  $t$  відбудеться хибне спрацювання сенсора. Статистично оцінюється частотою хибних тривог – кількістю хибних тривог за певний інтервал часу. Середній інтервал часу між двома послідовними хибними спрацюваннями називається напрацюванням на помилкове спрацювання  $P_{ПС}$ .

Тому частота хибних спрацювань є основною характеристикою, за якою можна судити про завадостійкість сенсора. Ідеальний сенсор охоронної сигналізації має ймовірність виявлення рівну одиниці і нульову частоту хибних тривог. Проте, ідеальних сенсорів не існує, і обидві ці величини в дійсності часто далекі від ідеалу.

Розглянуті характеристики пов'язані між собою таким параметром, як чутливість сенсора. Чутливість – величина, обернена порогу. Поріг, деяке значення, нижче якого сигнали інтерпретуються як шуми. Поріг регулюється під час налаштування сенсора. Чим

більша чутливість, тим більша ймовірність виявлення. Але при збільшенні чутливості зростає й частота хибних тривоги.

При налаштуванні сенсора приходиться вибрати ці параметри, і при цьому задача полягає у підборі оптимального рівня чутливості  $S_{opt}$ . Отже, розглядаючи процес виявлення в цілому, можна виділити основні показники його якості: достовірність виявлення; стійкість до завад. Ймовірність правильного виявлення є основною характеристикою, яка дозволила про достовірність виявлення. На рис. 1 наведено графік взаємозалежності ймовірності виявлення і помилкового спрацювання.

Частота хибних тривоги є основною характеристикою, за якою можна судити про завадостійкість сенсора. Завадостійкість – показник якості сенсора, що характеризує його здатність стабільно працювати в різних умовах.

Обумовлено це, перш за все, тим, що будь-який сенсор схильний до дії великого числа інтенсивних завад різноманітного походження, і в цих умовах, абсолютно достовірно розрізнити дію завад від вторгнення порушника неможливо [2].

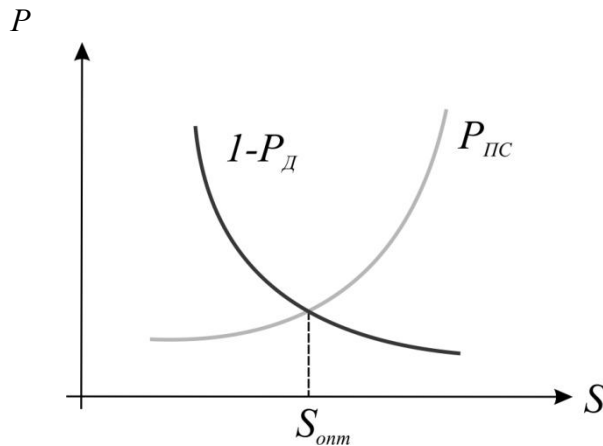


Рис. 1. Взаємозалежність ймовірності виявлення  $P_D$  та ймовірності помилкового спрацювання  $P_{ПС}$ :  $P_D$  – ймовірність правильного виявлення;  $P_{ПС}$  – ймовірність помилкового спрацювання;  $S$  – чутливість сенсора;  $S_{opt}$  – оптимальне значення чутливості сенсора.

Величина ймовірності виявлення порушника ( $P_D$ ) та величина середнього напрацювання на помилкову тривогу ( $t_{пт}$ ) є основними тактико-технічними характеристиками порушника, які характеризують його сигналізаційну надійність – можливість виявлення і завадостійкість.

$P_D$  можна розрахувати за формулою:

$$P_D = \frac{N_b - M - 1}{N_b}, \quad (1)$$

де  $N_b$  – число випробувань по подоланню зони виявлення (ЗВ);

$M$  – число пропусків порушника (експериментів, в яких не спрацювала ЗВ).

Також важливим параметром ЗВ є частота помилкових спрацювань  $N_{пс}$ , яка обчислюється так:

$$N_{\text{пс}} = \frac{1}{t_{\text{пт}}}. \quad (2)$$

Причини помилкових тривог можуть бути різними. Зокрема, помилкова тривога може виникнути через «технологічні» причини: неграмотний монтаж сенсорів, неправильне налаштування електронних блоків або просто незадовільний інженерний стан об'єкту.

При аналізі показників вірогідності контролю використовується ймовірність помилкових рішень  $P_{\text{ПОМ}}$ , яка визначається як різниця

$$P_{\text{ПОМ}} = 1 - P_{\text{Д}}. \quad (3)$$

Помилкові рішення при виявленні мають дві складові, які носять назву *хибна відмова* та *невизначена відмова*. В теорії виявлення існують для цих подій відповідно такі назви: помилка першого роду або ризик виробника і помилка другого роду або помилка споживача.

Ймовірність помилковості рішень подамо так

$$P_{\text{ПОМ}} = P_{\text{Х}} + P_{\text{Н}}, \quad (4)$$

де  $P_{\text{Х}}$  – ймовірність того, що об'єкт С справний, а результат виявлення негативний (стан об'єкту порушений П);  $P_{\text{Н}}$  – ймовірність того, що об'єкт С несправний, а результат виявлення позитивний (стан об'єкту не порушений П).

Розглянемо ймовірність виявлення нерухомих об'єктів. Важливим критерієм оцінки системи є *миттєва* ймовірність  $p$  виявлення об'єкту за один цикл.

Допустимо, що миттєві спостереження виконуються за незмінних умов і що ймовірність виявлення при кожному з них є величина незалежна, ймовірність виявлення при  $m$  миттєвих спостереженнях визначають у відповідності з теоремою про повторення незалежних подій за формулою [3]

$$P_{\text{С}}(m) = 1 - (1 - p)^m. \quad (5)$$

Значення  $P_{\text{С}}(m)$  – це накопичена ймовірність виявлення.

На рис. 2 подано криві, які дають змогу знайти число спостережень  $m$ , при якому на певній відстані реалізується потрібна ймовірність виявлення  $P_{\text{С}}$ . Очевидно, що навіть при малому значенні ймовірності правильного виявлення за одне спостереження  $p$  можуть бути отримані прийнятні значення  $P_{\text{С}} > 0,9$ . Але при дуже малих значеннях  $p$  для отримання  $P_{\text{С}} > 0,9$  потрібно досить велике число  $m$  спостережень.

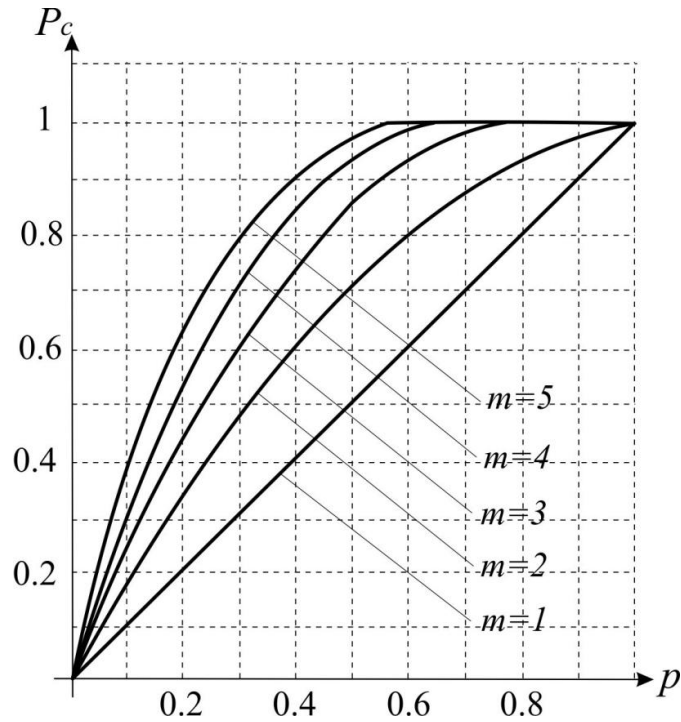


Рис. 2. Залежність накопиченої ймовірності  $P_C$  від ймовірності правильного виявлення в одному циклі  $p$  при різному числі спостережень  $m$ .

Математичне очікування, дисперсія та середньоквадратичне відхилення числа миттєвих спостережень, необхідних для виявлення об'єкта, можна визначити за виразами

$$M(m) = \sum_{k=1}^{\infty} k(1-p)^{k-1} p \cdot (m=k), \quad (6)$$

$$D(m) = M(m^2) - [M(m)]^2 = (1-p)/p^2, \quad (7)$$

$$\sigma(m) = \sqrt{L(m)} = \sqrt{1-p}/p. \quad (8)$$

Якщо хоча би одного виявлення в  $m$  спостереженнях недостатньо, то тоді потрібно не менше  $k$  правильних рішень і ймовірність визначають з рівності

$$P_{k,m} = \sum_{i=k}^m C_m^i p^i (1-p)^{m-i}, \quad (9)$$

де 
$$C_m^i = \frac{m(m-1)\dots(m-i+1)}{1 \cdot 2 \cdot 3 \dots i}.$$

Як видно з рис. 3, при одному й тому ж значенню  $p$  ймовірність  $P_{2,3}$  менше ймовірності  $P_{2,5}$ , тобто при трьох спостереженнях важче забезпечити не менше двох правильних виявлень, ніж в п'яти.

Враховуючи, що величина  $p$  пов'язана з відстанню  $L$ , тобто  $p=f(L)$ , то й  $P(m)$  буде залежним від  $L$ . Використовуючи формулу (5) для різних  $m$ , можна розрахувати криві  $P(L)$ , які подано на рис. 4. Вони можуть бути використані для визначення ймовірності виявлення на відповідній відстані до нерухомих об'єктів у залежності від числа спостережень.

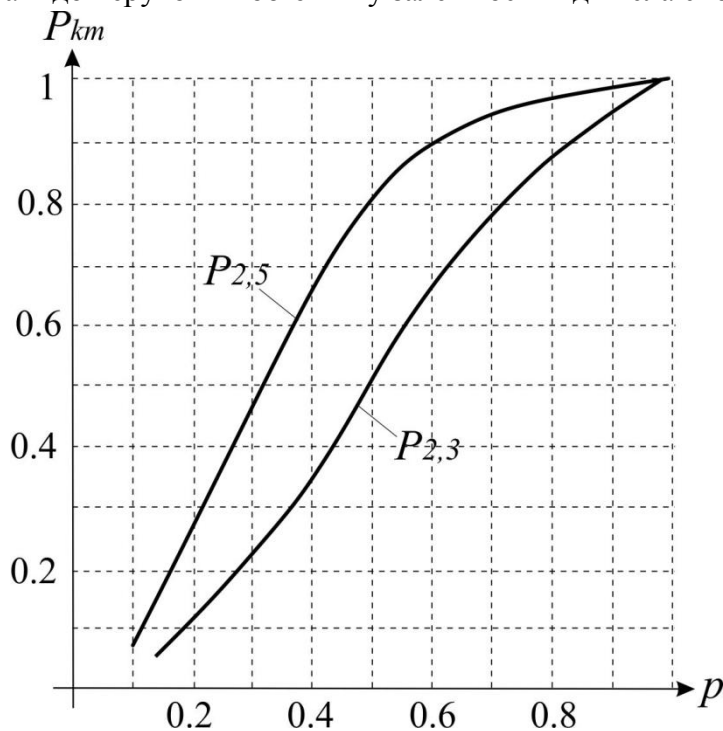


Рис. 3. Залежність накопиченої ймовірності від ймовірності правильного виявлення в одному циклі при заданому числі виявлень.

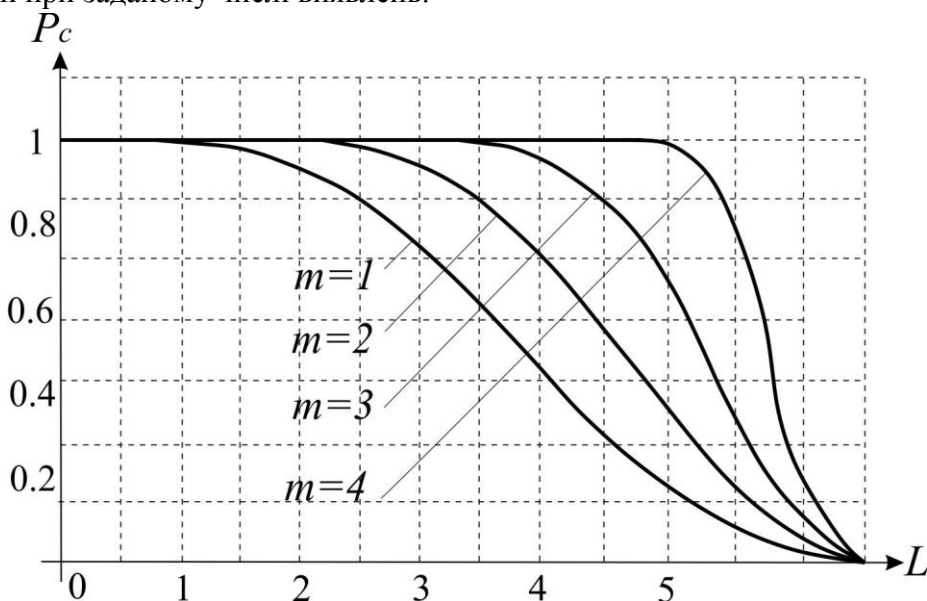


Рис. 4. Зміна накопиченої ймовірності у залежності від відстані  $L$  для різних значень  $m$

Вище ми вважали, що спостереження проводились при незмінних умовах, тобто  $p = \text{const}$ . У загальному випадку при зміні умов спостереження маємо

$$P_C = 1 - \prod_{i=1}^m (1 - p_i), \quad (10)$$

де  $p_i$  – ймовірність виявлення об'єкта при  $i$ -му спостереженні.

Розглянемо випадок, коли порушник рухається з постійною швидкістю  $v$ . При встановленні залежності  $P_C$  від відстані до об'єкта  $L$ , слід використати формулу (10), оскільки у цьому випадку за рахунок руху порушника весь час відбувається зміна миттєвої ймовірності  $p$ . При відомій швидкості  $v$ , можна визначити зміну дальності при послідовних спостереженнях, а за залежністю  $P(L)$  знайти  $p_i$  для  $i$ -го спостереження. Тоді, користуючись (10), можна побудувати графіки зміни  $P_C$  від  $L$  для характерних значень  $v$  (рис. 5).

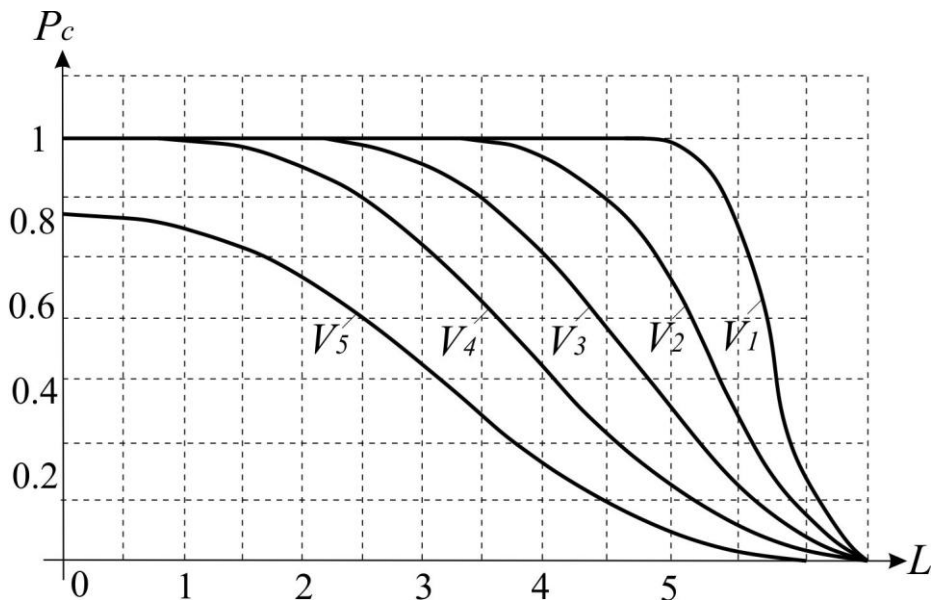


Рис. 5. Зміна накопиченої ймовірності у залежності від дальності для різних швидкостей порушника ( $v_5 > v_4 > v_3 > v_2 > v_1$ )

Знання залежності  $P(L)$  дає змогу визначити  $L_{\max}$  і  $L_{\min}$  і тим самим представити зону дії системи, яка містить зону ймовірного та достовірного виявлення.

Складніше вирішується задача оцінювання  $P_C$  при русі порушника відносно системи виявлення під будь-яким кутом. Показано, що на заданій траєкторії переміщення порушника зона дії системи обмежена максимально можливою відстанню виявлення  $L_{\max}$ . Порушник при цьому рухається паралельно осі  $y$  на віддалі  $X_i$ , яка може бути в межах від 0 до  $\pm L_{\max}$ .

За формулою (10) для кожного  $i$ -го спостереження довжиною  $2X_i$ , можна розрахувати значення  $P_C(m)$ . Весь інтервал параметра  $X_i$  можна охарактеризувати розподілом  $P_C(X)$ . Тоді можна побудувати залежності  $P_C(X)$  для кожного типу об'єкту та для різних умов. У теорії пошуку та виявлення об'єктів введено поняття ефективної ширини смуги виявлення об'єкта, яку визначають як основу прямокутника, площа якого рівна площі під кривою  $P_C(X)$ :

$$B_E = \frac{1}{P_Z} \int_{-\infty}^{+\infty} P_C(X) dX, \quad (11)$$

де  $P_Z$  – задана ймовірність виявлення об'єкта.

У загальному випадку закон розподілу  $P_C(X)$  може бути різним.

Розглянемо, як впливає спосіб пошуку на значення накопиченої ймовірності виявлення. Подамо пошук як випадковий марковський процес, в якому число виявлень за даний відрізок часу не залежить від результатів попереднього [4]. Такий найпростіший потік характеризують розподілом Пуассона, а накопичену ймовірність виявлення об'єкта системою визначають для стаціонарного пуассонівського потоку за формулою

$$P_C(t) = 1 - \exp[-U(t)], \quad (12)$$

де  $U(t)$  – потенціал пошуку:

$$U(t) = \gamma t_p \quad (13)$$

і для нестационарного:

$$U(t) = \int_{-t_0}^{+t_0+t_p} P_C(X) dX, \quad (14)$$

де  $\gamma$  – густина (інтенсивність) потоку подій, тобто середнє число виявлень за одиницю часу;  $t_p$  – час пошуку,  $t_0$  – початок відліку часу пошуку.

Отже, потенціал пошуку характеризує накопичення ймовірності з наростанням циклів спостережень, тобто протягом часу. З (13) та (14) після перетворень отримаємо

$$U(t) = -m \ln(1 - p) \quad (15)$$

і

$$p = 1 - \exp(-\gamma t_p). \quad (16)$$

Ці формули справедливі для віддалі  $L_0$ . Для довільної віддалі  $L$  отримаємо

$$\gamma(t) = -\frac{1}{t_p} \ln[1 - p(L)]; \quad (17)$$

$$p(D) = 1 - \exp[-\gamma(L)t_p] \quad (18)$$

Отже з допомогою наведених формул можлива еквівалентна заміна заданих ймовірнісних характеристик. Тому розрахунок накопиченої ймовірності зводиться до визначення потенціалу виявлення або інтенсивності пошуку.

#### **Висновки.**

Оцінено зміни ймовірності виявлення порушення стану об'єкту у залежності від числа спостережень, відстані та різних швидкостей порушника.

1. Політило Р. В. Підвищення надійності ультразвукових систем охоронної сигналізації / Погребенник В. Д., Політило Р. В. // Збірник тез доповідей VII Міжнародної науково-технічної конференції «Приладобудування 2008: стан і перспективи». – К.: НТУ «Київський політехнічний інститут», 2008. – С. 105–106. 2. Політило Р. В. // Вибір параметрів первинних вимірювальних перетворювачів ультразвукових засобів охоронної сигналізації / Погребенник В. Д., Політило Р. В. // Збірник матеріалів IV Міжвузівської науково-технічної конференції науково-педагогічних працівників «Проблеми та перспективи розвитку економіки і підприємництва та комп'ютерних технологій в Україні». – Львів: ІППТ, 2009. – С. 48–49. 109. 3. Абчук В.А. Поиск объектов / Абчук В.А., Суздаль В.Г. – М.: Сов. радио, 1977. – 336 с. 110. 4. Бакут П.А. Обнаружение движущихся объектов / Бакут П.А., Жулина Ю.В., Иванчук Н.А. – М.: Сов. радио, 1980. –288 с.