

УДК 623.004.67

О.С. Манохіна, А.М. Науменко

*Харківський університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків*

## АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ПАСИВНОГО ІЧ ДЕТЕКТОРА РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ (ПІЧ-ДЕТЕКТОРА)

*В статті аналізується ефективність роботи пасивного ІЧ детектора, визначається потужність ІЧ випромінювань такого датчика, дається оцінка рівня потужності випромінювання на поверхні датчика. Розглядається оптичний пристрій, який фокусує випромінювання від об'єкта в мініатюрний образ на поверхні сенсора.*

**Ключові слова:** піроелектрика, потужність вимірювання, датчик, чутливий елемент

### Вступ

**Постановка задачі.** При виборі датчиків для застосувань необхідно звертати увагу на їх надійність, вибірковість і перешкодозахищеність. Для підвищення надійності охоронних систем часто використовуються декілька датчиків зі своїми інтерфейсними схемами, що працюють незалежно один від одного. Такий прийом особливо ефективний у випадку зовнішніх перешкод. Іншим способом зниження похибок при виявленні вторгнення людей є застосування декількох датчиків, заснованих на різних фізичних принципах (наприклад, дуже ефективна комбінація ємнісних і ІЧ детекторів, оскільки для них критичними є різні види внесених перешкод). Тому актуальність даної проблеми є досить суттєвою.

**Аналіз літератури.** В відомій літературі [1 – 6] розглядається робота вимірювальних перетворювачів, але в цій літературі не визначаються питання, що пов'язані з дослідженням роботи ПІЧ-детекторів рухомих об'єктів. **Метою статті** є дослідження роботи пасивного ІЧ детектора рухомих об'єктів, надання оцінки рівню потужності випромінювання на поверхні датчика.

### Виклад основного матеріалу

Незважаючи на відмінності в типах застосовуваних оптичних пристроїв, всі ПІЧ-детектори побу-

довані на одному фізичному явищі-піроелектрика. Оптичний пристрій фокусує випромінювання від об'єкта в мініатюрний тепलोї образ на поверхні сенсора. Енергія від цього образу поглинається чутливим елементом і конвертується в тепло. Це тепло, в свою чергу, перетворюється в піроелектричному елементі в електричний струм.

Для оцінки рівня потужності випромінювання на поверхні датчика необхідно зробити кілька припущень:

– рухаючимся об'єктом є чоловік, ефективна площа поверхні якого дорівнює  $b$ . При цьому температура в будь-якій точці його поверхні дорівнює  $T_b$

– об'єкт є джерелом дифузійного (розсіяного) випромінювання рівномірно розподілене всередині півсфери, площа якої дорівнює  $2\pi L^2$

– фокусуючий пристрій дозволяє отримати чітке зображення об'єкта, розташованого на будь-якій відстані.

У подальших розрахунках вважаємо, що площа поверхні лінзи –  $a$ , а температура сенсора (у Кельвінах)  $T_a$  збігається з температурою навколишнього середовища. Повна потужність ІЧ випромінювання (тепловий потік), що випускається об'єктом, може бути знайдена за допомогою закону Стефана-Больцмана:

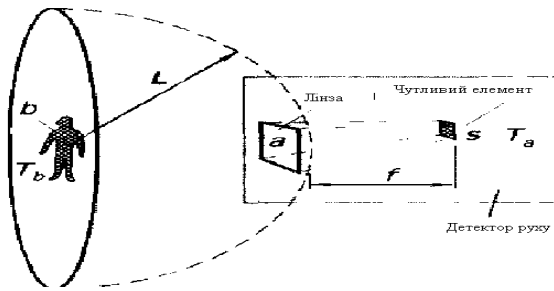


Рис. 1. Формування теплового образу на поверхні чутливого елемента ПЧ-детектора руху

$$\Phi = b\epsilon_a \epsilon_b \sigma (T_b^4 - T_a^4), \quad (1)$$

де  $\tau$  – постійна Стефана-Больцмана,  $\epsilon_b$  і  $\epsilon_a$  коефіцієнти випромінювання об'єкта і навколишнього середовища. Якщо температура об'єкта вище температури навколишнього середовища, вся випромінювана ІК енергія направлена від нього – у відкритий простір. Оскільки місце є джерелом розсіяного випромінювання, можна вважати, що на рівновіддалених від нього відстанях щільність потоку однакова. Іншими словами, інтенсивність ІЧ випромінювання розподілена рівномірно вздовж сферичної поверхні радіуса  $L$ .

Вважаючи, що поверхня об'єкта є ідеальним випромінювачем, а навколишнє середовище – ідеальним поглиначем (тобто,  $\epsilon_b = \epsilon_a = 1$ ), можна знайти щільність потоку випромінювання на відстані  $L$ :

$$\phi = \frac{b}{2\pi L^2} \epsilon_s \sigma (T_b^4 - T_a^4) \quad (2)$$

де  $\epsilon_s$  – коефіцієнт поглинання чутливого елемента. Ефективність лінзи (її коефіцієнт пропускання)  $\gamma$  теоретично змінюється в діапазоні 0.092, в залежності від властивостей матеріалу лінзи і її конструкції. Для поліетиленових лінз Френеля  $\gamma$ , що лежить в межах 0,4 ... 0,7. Нехтуючи не лінійністю, викликані четвертої ступенем температур, потужність теплового випромінювання, поглиненого елементом, можна виразити у вигляді:

$$\Phi_s = a\gamma\phi \approx \frac{2\sigma\epsilon_s}{\pi L^2} a\gamma T_a^3 (T_b - T_a) \quad (3)$$

Звідси видно, що ця потужність обернено пропорційна квадрату відстані до об'єкта і прямо пропорційна площами лінзи і об'єкта. Важливо відзначити, що в разі використання багатогранної лінзи, під параметром  $a$  розуміється площа окремої межі. Якщо об'єкт тепліше сенсора, потік  $\Phi_s$  є позитивним. А якщо об'єкт холодніше сенсора, потік стає негативним, що означає зміна його напрямку, тобто тепло переходить від датчика до об'єкта. У реальному житті це відбувається тоді, коли людина входить в теплу кімнату з морозу. У подальших міркуваннях будемо вважати, що потік завжди позитивний.

Максимальна робоча відстань при заданих умовах визначається за рівнем шуму детектора. Для

надійного виявлення рухів об'єкта максимальна потужність шуму повинна в 3–5 разів менше рівня мінімального сигналу.

Піроелектричні датчики є перетворювачами потоку теплової енергії в електричний заряд. При передачі теплової енергії завжди формується градієнт температур вздовж товщини чутливого елемента. У розглянутому детекторі передня сторона сенсора товщиною звернена до лінзи, а зворотна сторона спрямована на внутрішню стінку корпусу датчика, температура якого зазвичай дорівнює температурі навколишнього середовища, тобто  $T_a$ .

На передню сторону сенсора нанесено спеціальне покриття для збільшення його коефіцієнта поглинання (в ідеалі до 1). Коли передня частина сенсора поглинає тепловий потік  $\Phi_s$ , її температура збільшується, і тепло починає розповсюджуватися до його задньої частини.

Оскільки чутливий елемент має піроелектричні властивостями, у відповідь на що проходить через нього тепловий потік на його поверхні починають утворюватися електричні заряди.

Температура чутливого елемента при проходженні через нього потоку ІЧ випромінювання змінюється зі швидкістю, яка визначається виразом:

$$\frac{dT}{dt} \approx \frac{\Phi_s}{C}, \quad (4)$$

де  $\Phi_s$  – потужність поглиненого випромінювання;  $C$  – теплоємність елемента;  $t$  – час.

Це рівняння справедливо тільки протягом дуже короткого інтервалу часу (практично тільки в початковий момент, коли на сенсор починає діяти тепловий потік), тому вони використовуються лише для оцінки величини сигналу.

Електричний струм, що виробляється чутливим елементом, може бути знайдений з фундаментальної формули:

$$i = \frac{dQ}{dt}, \quad (5)$$

де  $Q$  – електричний заряд, утворений на електродах чутливого елемента.

Величина цього заряду визначається піроелектричним коефіцієнтом сенсора  $p$ , його площею  $s$  і перепадом температури  $dT$ .

$$dQ = P_s dT \quad (6)$$

Теплова ємність елемента  $C$  може бути отримана з вираження:

$$C = csh \quad (7)$$

де  $c$  – питома теплоємність;  $s$  – площа;  $h$  – товщина чутливого елемента.

Підставляючи рівняння (4), (6) і (7) у вираз (5) оцінемо пиковий струм, генерований сенсором у відповідь на падаючий тепловий потік:

$$i = \frac{P_s dT}{dt} = \frac{P_s \Phi_s}{csh} = \frac{P}{hc} \Phi_s. \quad (8)$$

Для виведення співвідношення між струмом і рухом а об'єкту вираз (3) треба підставити в (8):

$$i = \frac{2R\alpha\sigma\gamma}{\pi h c} b T_a^3 \frac{\Delta T}{L^2}, \quad (9)$$

де  $\Delta T = (T_b - T_a)$ .

На основі аналізу рівняння (9) можна зробити кілька висновків. Перше ставлення цього виразу характеризує детектор, а решта – об'єкт. Піроелектричний струм прямо пропорційний різниці температур (теплової контрастності) між об'єктом і навколишнім середовищем. Він також пропорційний площі поверхні об'єкта, спрямованої в бік детектора. Незважаючи на третю ступінь впливу температури та на величину струму не великий. Чим тонше піроелектричний елемент, тим вище чутливість детектора. Площа лінзи безпосередньо пов'язана з амплітудою сигналу. З іншого боку, якщо лінза фокусує на чутливий елемент ціле зображення об'єкта, площа датчика не впливає на величину піроелектричного струму.

Для подальшого аналізу рівняння (9) знайдемо напругу на резисторі К, яке можна використовувати для визначення руху об'єкта. Вважаємо, що чутливий елемент виготовлений з РУОР плівки і має такі властивості:  $R = 25 \text{ мкОм/К-м}^2$ ,  $c = 2,4 \cdot 10^6 \text{ Дж/м}^3$ ,  $\kappa = 25 \text{ мкм}$ . При цьому площа лінзи дорівнює  $a = 1 \text{ см}^2$ ,  $\gamma = 0,6$ ,  $K = 109 \text{ Ом (1 ГОм)}$ . Площа поверхні об'єкта  $\text{ред} = 0,1 \text{ м}^2$ , його температура  $t = 27^\circ\text{C}$ , а температура навколишнього середовища  $t = 20^\circ\text{C}$ . Тоді за допомогою рівняння (9) можна знайти залежність вихідної напруги від до відстані  $b$  від детектора до об'єкта. Отримана залежність показана на рис. 2.

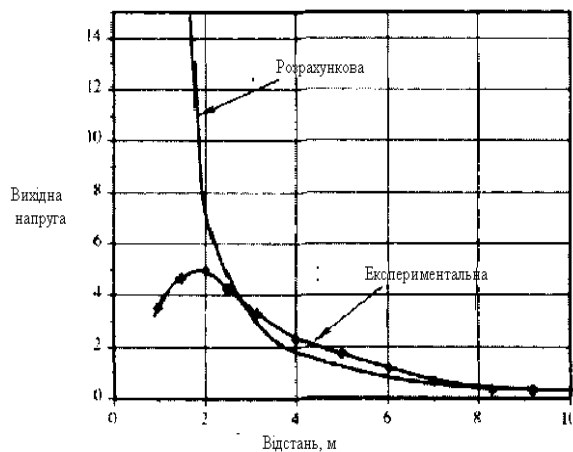


Рис. 2. Розрахункова та експериментальна залежності амплітуди вихідного сигналу ПІЧ детектора руху від відстані до об'єкта

Графіки на рис. 2 справедливі за умови що зображення об'єкта не перевищує площу чутливого елемента, і що оптична система забезпечує чітке зображення об'єкта, незалежно від відстані до нього. На практиці ці умови часто не виконуються, особливо при не великих відстанях до об'єкта, де зображення об'єкта не тільки виходить за межі фока-

льної площини, але також може потрапити на неробочі ділянки симетричного чутливого елемента. Спосіб зниження амплітуди сигналу при коротких відстанях до об'єкта очевидна: не можна допускати, щоб напруга перевищувала відповідним розрахунковим значенням.

## Висновки

1. Проведений аналіз дає змогу дослідити роботу пасивного ПІЧ детектора (який побудовано на одному фізичному явищі – піроелектриці). Піроелектричні датчики є перетворювачами потоку теплової енергії в електричний заряд. При передачі теплової енергії завжди формується градієнт температур вздовж чутливого елемента.

2. Важливим чинником ПІЧ детекторів є потужність теплового потоку (випромінювань), яку чутливий елемент перетворює в електричні заряди. Оптичний пристрій фокусує випромінювання від об'єкта в мініатюрний образ на поверхні сенсора. Енергія від цього образу поглинається чутливим елементом і конвертується в тепло, таким чином тепло перетворюється в піроелектричному елементі в електричний струм, чим тонше піроелектричний елемент, тим вище чутливість детектора.

3. Проведена оцінка рівня потужності випромінювання датчика дає можливість визначити, що якщо температура об'єкта вище температури навколишнього середовища, вся випромінювана ПІЧ енергія направлена від нього-у відкритий простір. Оскільки це місце є джерелом розсіяного випромінювання, можна вважати що на рівновіддалених від нього відстанях щільність потоку однакова. Спосіб зниження амплітуди сигналу на коротких відстанях до об'єкта очевидний: не можна допускати, щоб напруга перевищувала відповідним розрахунковим значенням.

## Список літератури

1. Поліщук Э.С. *Вимірювальні перетворювачі* / Э.С. Поліщук. – Вища школа, 2003. – 180 с.
2. Бартенев В.Р. *Технології PLUG & PLAY в техніці виміру температури* / В.Р. Бартенев, Р.В. Бартенев // *Контрольно-вимірювальні прилади й системи*. – 1997. – № 2. – С. 24-27.
3. Фарсане Н.Г. *Технологічні виміри й прилади* / Н.Г. Фарсане, Л.В. Илясов. – Г.: Вища школа, 1999. – 340 с.
4. Бартенев В.Р. *Розподілена модульна система терморегулювання СИНТАЛ ТЕРМОЛІНК* / В.Р. Бартенев, Р.В. Бартенев // *CHIP NEWS*. – № 9. – 1997 с.
5. *Основи метрології й електричні вимір*. – Г.: Энергоатомиздат, 1987. – 370 с.
6. *Вимір електричних і неелектричних величин* / М.М. Євтіхіїв та ін. – Г.: Энергоатомиздат, 1988. – 210 с.

Надійшла до редколегії 27.06.2013

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.Б. Кононов, Харківський університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків.

**АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПАССИВНОГО ИК ДЕТЕКТОРА  
ДВИЖУЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ (ПИК-ДЕТЕКТОРА)**

О.С. Манохина, А.Н. Науменко

*В статье анализируется эффективность работы пассивного ИК детектора, определяется мощность ИК излучений такого датчика, даётся оценка уровня мощности излучения на поверхности датчика. Рассматривается оптическое устройство, которое фокусирует излучения от объекта в миниатюрный образ на поверхности сенсора.*

**Ключевые слова:** пироэлектрика, мощность измерений, датчик, чувствительный элемент.

**ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF A PASSIVE IR DETECTOR ROBOTS MOVING OBJECTS**

O.S. Manohina, A.N. Naumenko

*The article examines the effectiveness of the passive infrared detector, determined by the power of the IR sensor zlucheny, assesses the level of radiation on the sensor surface. An optical device that focuses the radiation from the object into a miniature image on the sensor surface*

**Keywords:** pyroelectric, power measurements, sensor, sensitive element.