

## ВИЗНАЧЕННЯ ФОРМИ ПРОФІЛЮ ВІДБИВАЧА ПОЖЕЖНОГО СПОВІЩУВАЧА ДИМУ

*Розглянуто спосіб розрахунку відбивачів пожежних сповіщувачів диму, профіль чутливих елементів яких визначається фокальною лінією неточкового приймача променів.*

*Ключові слова: сповіщувач диму, нанокмпозиційні матеріали, відбивальна система, фокальна лінія.*

Для протипожежного захисту майна часто застосовують фотоелектричні сповіщувачі диму [1], з оптичної частини яких виходить промінь і допомагає визначити кількість диму у повітрі (рис. 1).



Рис 1. Схема детекторного сповіщувача диму

Сучасні розробки сповіщувачів диму використовують нанокмпозиційні матеріали, що визначають основу нового типу хімічних сенсорів «електронний ніс» [2]. Принцип дії наносенсорних чутливих датчиків заснований на зміні електропровідності нанокмпозиційної плівки під дією парів речовини (рис. 2).

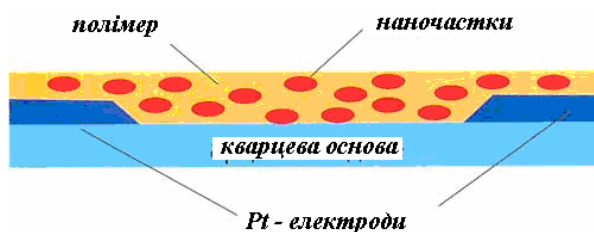


Рис. 2. Схема чутливої частини сповіщувача диму

Для підвищення ефективності дії сповіщувачів диму з нанокмпозиційними матеріалами доцільно доповнити їх конструкції пристроями для концентрування часток диму на чутливій поверхні наносенсорного датчика. На рис. 3 наведено можливу схему наносенсорного сповіщувача диму. Принцип його дії полягає у такому.

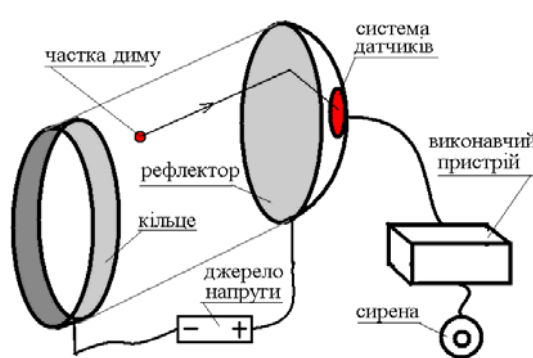


Рис. 3. Запропонована схема наносенсорного сповіщувача диму

Частка диму (розміром 5–10 мкм [3, 4]) розганяється в електричному полі, створеного різницею потенціалів між кільцем і відбивачем (діаметр кільця 50–70 мкм). Після механічного відбиття частка попадає до системи датчиків і реєструється виконавчим пристроєм. Звідси слідує актуальність геометричної проблеми – розрахувати форму відбивача так, щоб спрямований на неї паралельний потік часток диму сконцентрувався на активній поверхні датчика наперед обраної форми. Враховуючи, що відбивачем планується обирати поверхню обертанія, то далі розглядається хід променів (тобто траєкторій руху частки) у осевому перетині цієї поверхні.

У роботах [5, 6] наведено метод розрахунку відбивача шляхом складання диференціальних рівнянь, розв'язком яких буде опис відбивача з неточковими фокусами.

Оберемо на площині  $Oxy$  дугу фокальної лінії  $x_S = X(t)$ ;  $y_S = Y(t)$  (наприклад, фрагмент дуги еліпса), де параметр  $t$  змінюється у межах  $t_1 \leq t \leq t_2$ . Нехай джерелом променів є кожна з точок  $\{S\}$  фокальної лінії. У роботі [7] наведено спосіб визначення форми такої кривої (квазіпараболи), для якої відбиті від неї промені «розташуються» паралельно у напрямі осі  $Ox$ . При цьому кожній точці фокальної лінії повинна відповідати точка на квазіпараболі. Для цього шукану відбивальну криву необхідно описати рівнянням  $y = f(x)$ . Позначимо через  $S(x_S, y_S)$  точку джерела променів, через  $Q(x_Q, y_Q)$  – точку уявного джерела променів, що відповідає точці  $M(x, y)$  падіння променя, а через  $T(x_T, y_T)$  – деяку точку на відбитому промені.

Для складання диференціального рівняння відносно функції  $f(x)$ , було використано рівняння ортотоміки [8]:

$$x_Q(x) = \frac{(2x - x_S) \left( \frac{df}{dx} \right)^2 - 2(f - y_S) \frac{df}{dx} + x_S}{1 + \left( \frac{df}{dx} \right)^2}; \quad (1)$$

$$y_Q(x) = \frac{y_S \left( \frac{df}{dx} \right)^2 - 2(x - x_S) \frac{df}{dx} - y_S + 2f}{1 + \left( \frac{df}{dx} \right)^2}.$$

Розглянемо відрізок  $QT$  прямої, що проходить через точку падіння променя  $M(x, f(x))$ , їй відповідну точку  $Q(x_Q, y_Q)$  на ортотоміці, та точку  $T(x_T, y_T)$  на відбитому промені. Маємо рівняння відрізка  $QT$ :

$$(x_T - x_Q)(f(x) - y_Q) - (y_T - y_Q)(x - x_Q) = 0, \quad (2)$$

де значення  $x_Q$  і  $y_Q$  задано виразами (1). Вилучимо з (2) похідну:

$$\frac{df}{dx} = \frac{U + \sqrt{W}}{V}, \quad (3)$$

де

$$U = x^2 - f^2 - xx_T + y_T f + x_T x_S - y_T y_S + y_S f - xx_S;$$

$$V = x_T f + x_S f - y_T x_S + xy_S - 2xf - x_T y_S + xy_T;$$

$$W = \left( (y_T - f)^2 + (y_T - x)^2 \right) \left( (x - x_S)^2 + (f - y_S)^2 \right).$$

Вираз (3) буде саме тим диференціальним рівнянням, що допоможе знайти функцію  $y = f(x)$ .

Навести спосіб розрахунку відбивачів пожежних сповіщувачів диму, профіль чутливих елементів яких визначається фокальною лінією неточкового приймача променів.

З диференціального рівняння (3) можна знайти функцію  $y=f(x)$ , графік якої збігається з профілем відбивача, для якого промінь, що вийшов з точки  $S(x_S, y_S)$ , після відбиття від знайденого графіка має досягти точки  $T(x_T, y_T)$ . Так як формула є «симетричною» відносно координат точок  $S$  і  $T$ , то має

місце і «обернене» твердження: промінь, який вийшов з точки  $T(x_T; y_T)$ , після відбиття від знайденого графіка досягне точки  $S(x_S; y_S)$ .

У роботі [3] запропоновано визначення квазіпараболи – як кривої, яка за оптичними властивостями подібна традиційній параболі, але фокус якої буде не точковим, а розосередженим вздовж фокальної лінії. Для складання диференціального рівняння квазіпараболи необхідно у рівнянні (3) врахувати, що при  $x_T = 0$   $y_T \rightarrow \infty$ . В результаті граничного переходу одержимо рівняння

$$\frac{df(x)}{dx} = \frac{f(x) - y_S + \sqrt{(x - x_S)^2 + (f(x) - y_S)^2}}{x - x_S}. \quad (4)$$

За умови  $t_1 \leq t \leq t_2$  кожній точці  $A(x, f(x))$  квазіпараболи відповідатимуть точки фокальної лінії

$$x_S = \varphi\left(t_2 - \frac{(t_2 - t_1)(b - x)}{b - a}\right); \quad y_S = \psi\left(t_2 - \frac{(t_2 - t_1)(b - x)}{b - a}\right). \quad (5)$$

Для «прив'язки» точки  $S(x_S, y_S)$  до дуги „фокальної” лінії достатньо врахувати її опис  $x_S = \varphi(t)$ ;  $y_S = \psi(t)$ , де  $t$  змінюється у межах  $t_1 \leq t \leq t_2$ , а також те, що при цьому головним керуючим параметром буде  $x$  з інтервалу  $[a \leq x \leq b]$ . Співставити змінній  $x$  у відповідність точки дуги фокальної лінії можна за формулою:  $t = t_2 - \frac{(t_2 - t_1)(b - x)}{b - a}$ . Тоді, коли змінна  $x$  пробігатиме точки інтервалу  $[a \dots b]$ ,

то точка  $S(x_S, y_S)$  пробігатиме відповідні точки дуги фокальної кривої. Якщо джерело променів розташоване у точці  $T(x_T; y_T)$ , то з рівняння (3) можна знайти опис  $y = f(x)$  відбивальної кривої, яка б проходила через точку  $K(x_K; y_K)$  так, щоб відбиті від неї промені перетнули всі точки кривої (5) за умови  $a \leq x \leq b$ . Координати точки  $K(x_K; y_K)$  визначатимуть початкові умови розв'язання рівняння (4).

В якості прикладу розглянемо на площині  $Oxy$  фокальну криву з рівнянням  $x = x_0 + c \cos t$ ;  $y = y_0 + d \sin t$ , де параметр  $t$  змінюється у межах  $t_1 \leq t \leq t_2$ . Прив'язку до фокальної кривої здійснимо виразами  $x_S = x_0 + c \cos(t)$ ;  $y_S = y_0 + d \sin(t)$ , де  $t = t_2 - \frac{(t_2 - t_1)(b - x)}{b - a}$ . В наведених прикладах вважається, що падаючі промені будуть паралельними, і направленими «назустріч» осі  $Ox$  (на рисунках не показано). У формулах збережено синтаксис мови Maple.

*Приклад 1.* Нехай профіль чутливого елемента має вигляд відрізка. На рис. 4 наведено варіант розрахунків для параметрів:

$$a=-66; b=45; x_k=40; y_k=100; t_1=-\pi; t_2=0; c=0,1; d=-60; x_0 = -40; y_0 = 0.$$

Зображено відбивальну криву на полі ізоклін (а), а також сім'ю променів, що нею відбиті на чутливий датчик (б).

Графіки одержано в результаті розв'язання диференціального рівняння

$$\left| \begin{array}{l} \frac{d}{dx} f(x) = (-40 + 0.1 \cos(-1.273 + 0.02829 x) - x + (x^2 \\ - 2 x (-40 + 0.1 \cos(-1.273 + 0.02829 x)) \\ + 120. \sin(-1.273 + 0.02829 x) f(x) + 3600. \sin(-1.273 + 0.02829 x)^2 \\ + f(x)^2 + (-40 + 0.1 \cos(-1.273 + 0.02829 x))^2)^{(1/2)} / ( \\ 60. \sin(-1.273 + 0.02829 x) + f(x)) \end{array} \right.$$

з початковою умовою  $f(40) = 100$ .

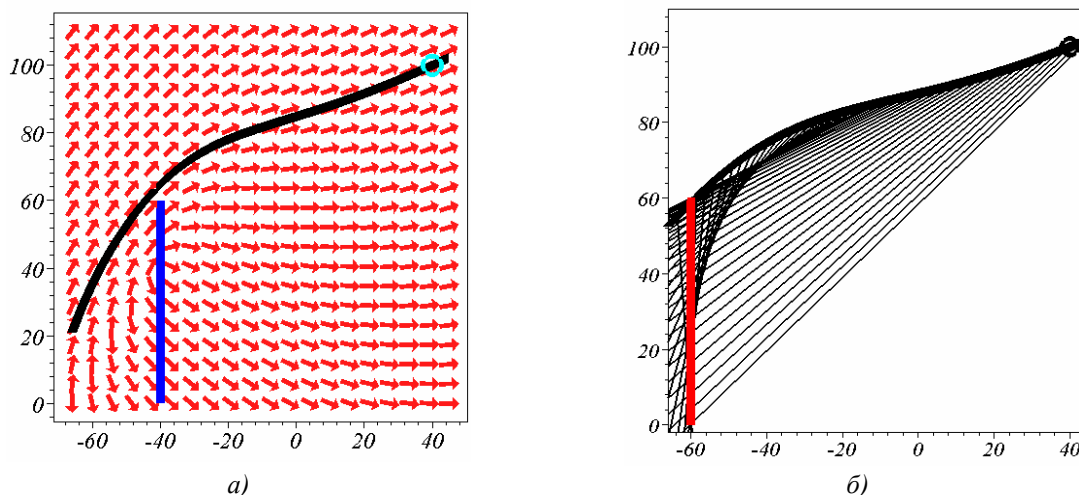


Рис. 4. Поле ізоклін і відбивальна крива (а), та сім'я відбитих від неї променів (б)

Приклад 2. Нехай профіль чутливого елемента має вигляд півкола. На рис. 5 наведено варіант розрахунків для параметрів:

$$a=-66; b=44; x_k=40; y_k=100; t_1=-\pi; t_2=0; c=40; d=-40; x_0 = -40; y_0 = 0.$$

Зображено відбивальну криву на полі ізоклін (а), а також промені (б), що нею відбиті на півколо (чутливий датчик).

Графіки одержано в результаті розв'язання диференціального рівняння

$$\begin{aligned} \frac{d}{dx} f(x) = & (-40 + 60 \cdot \cos(-1.273 + 0.02829 x)) - x + (x^2 \\ & - 2 x (-40 + 60 \cdot \cos(-1.273 + 0.02829 x)) \\ & + 120 \cdot \sin(-1.273 + 0.02829 x) f(x) + 3600 \cdot \sin(-1.273 + 0.02829 x)^2 \\ & + f(x)^2 + (-40 + 60 \cdot \cos(-1.273 + 0.02829 x))^2)^{(1/2)} / ( \\ & 60 \cdot \sin(-1.273 + 0.02829 x) + f(x)) \end{aligned}$$

з початковою умовою  $f(40) = 100$ .

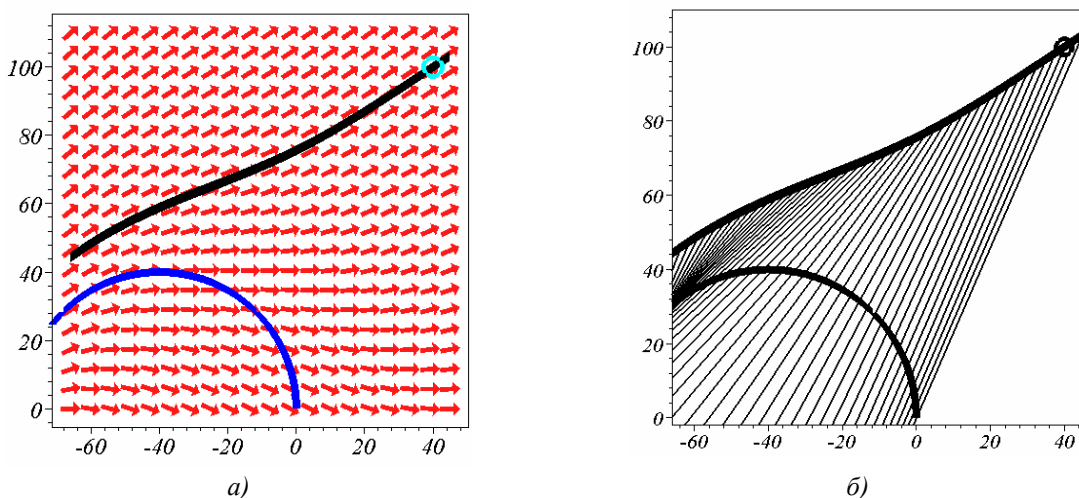


Рис. 5. Поле ізоклін і відбивальна крива (а), та сім'я відбитих від неї променів (б)

Приклад 3. Нехай профіль активного елемента має вигляд «пів-каплі». На рис. 6 наведено варіант розрахунків для параметрів:

$$a=-40; b=45; x_k=40; y_k=100; t_1=-\pi; t_2=0; c=-40; d=40; x_0 = 20; y_0 = 0.$$

Зображено відбивальну криву на полі ізоклін (а), а також сім'ю променів (б), що відбиті на чутливий датчик.

Графіки одержано в результаті розв'язання диференціального рівняння

$$\begin{aligned} \frac{d}{dx} f(x) = & (40. \sin(-1.662 + 0.03694 x) - x + (x^2 \\ & - 80. x \sin(-1.662 + 0.03694 x) \\ & - 2 (20 - 40. \cos(-1.662 + 0.03694 x) \sin(-1.662 + 0.03694 x)) f(x) \\ & + (20 - 40. \cos(-1.662 + 0.03694 x) \sin(-1.662 + 0.03694 x))^2 + f(x)^2 \\ & + 1600. \sin(-1.662 + 0.03694 x)^2)^{(1/2)} / ( \\ & -20 + 40. \cos(-1.662 + 0.03694 x) \sin(-1.662 + 0.03694 x) + f(x)) \end{aligned}$$

з початковою умовою  $f(40) = 100$ .

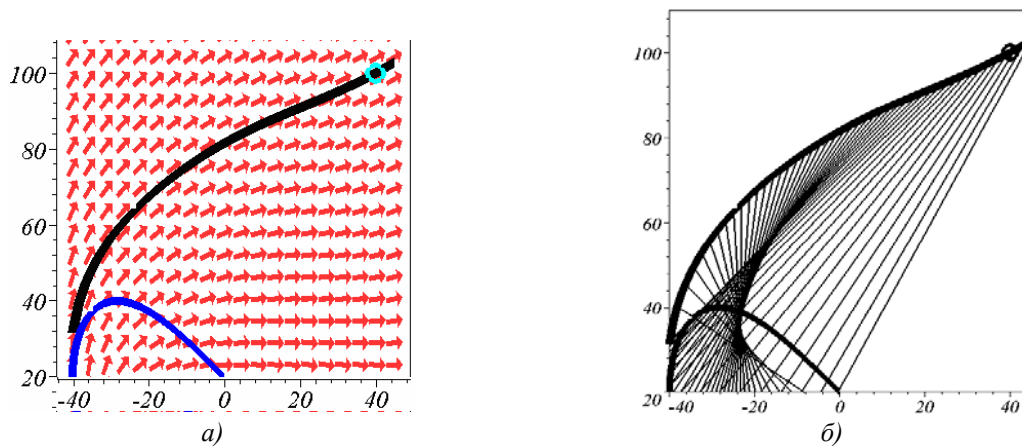


Рис. 6. Поле ізоклін і відбивальна крива (а), та сім'я відбитих від неї променів (б)

Для побудови поля ізоклін диференціального рівняння, позначеного ідентифікатором **eq**, використано Maple –оператор:

**DEplot(eq, f(x), x=a..b, f=0..yk, arrows=LARGE):**

Для побудови відбивальної кривої використано Maple –оператори:

**F1 := dsolve({eq, ic1}, {f(x)},**

**type=numeric, output=listprocedure);**

**for i from a to b do**

**zz[i] := rhs(F1(i)[2]);**

**end do;**

**plots[odeplot](F1, [x, f(x)], a..b, thickness=10).**

Для опису точок ортотоміки кривої використано Maple –оператори:

**dy := unapply (D(y)(t),t):**

**x := (t) -> t:**

**dx := diff(x(t),t):**

**dy := diff(y(t),t):**

**xort := 2\*( dy\*(x\*dy-dx\*y) +**

**dx\*(xs\*dx+ys\*dy))/(dx^2+dy^2)-xs:**

```

yort := 2*(-dx*(x*dy-dx*y) +
dy*(xs*dx+ys*dy))/(dx^2+dy^2)-ys:
Для побудови множини відбитих променів (45 штук) використано Maple –оператори:
for i from 1 to 45 do t := a + (b-a)*i/45.001:
xlin := w -> x(t) + w *(x(t) - xort(t)):
ylin := w -> y(t) + w *(y(t) - yort(t)):
luch := plot([xlin(w), ylin(w),w=0..0.5]):
Gr[i] := display(luch);
end do:
display(rub, K, spl, seq(Gr[i], i=1..45),
axes=BOXED, view=[a..b, 20..110]);

```

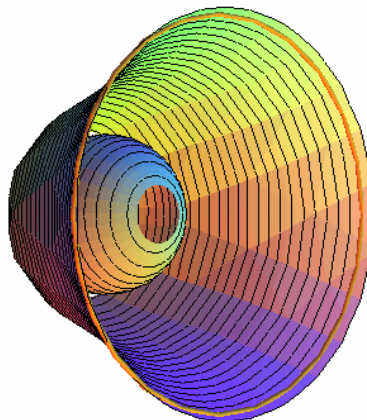


Рис. 7. Аксонометричне зображення відбивальної поверхні та чутливого сферичного елемента

Також було складено програму побудови просторових зображень відбивальних поверхонь. На рис. 7 у якості прикладу наведено одержане аксонометричне зображення відбивальної поверхні та чутливого сферичного елемента з прикладу № 2.

Диференціальне рівняння (4) дозволяє визначити криву, здатну «переломити» направлені на неї паралельні промені так, що відбиті промені досягнули фокальної лінії обраної форми. Рівняння (4) можна використати при розрахунку відбивачів пожежних сповіщувачів диму, чутливий профіль з на-нокомпозиційного матеріалу якого визначається фокальною лінією неточкового приймача променів, а також при проектуванні освітлювальних приладів з врахуванням геометричної форми балонів ламп.

### Список використаних джерел

1. Детектори диму [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.asutpp.ru/datchiki/datchik-pozharnoj-signalizacii.html>.
2. Яблоков М. Комбинированный пожарный извещатель для сверхраннего обнаружения очагов возгорания [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://house-control.org.ua/article/3500/m--yablokov--kombinirovannyy-pojarnyy-izveshatel-dlya-sverhrannego-obnaruzeniya-ochagov-vozgoraniya-/>.
3. Зайцев А. Размеры частиц дыма и корректность проведения огневых испытаний пожарных извещателей [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://avtoritet.net/library/press/245/9061/articles/10458>.
4. Зайцев А. В. Чувствительность пожарных извещателей к различным типам дыма / А. В. Зайцев // Алгоритм безопасности. — 2012. — № 3, 4, 5.
5. Сітабдієва О. Л. Геометричне моделювання квазіеліпсоїдів з неточковими фокусами / О. Л. Сітабдієва // Геометричне та комп'ютерне моделювання. — Харків : ХДУХТ, 2005. — Вип. 9. — С. 122—127.
6. Куценко Л. М. Квазіпарабола з неточковими фокусом як основа відбивача освітлювального приладу / Л. М. Куценко, А. Ф. Сухобоков // Прикладна геометрія та інженерна графіка. — Вип. 75. — К. : КНУБА, 2005. — С. 58—64.
7. Підгорний О. Л. Опис подери, ортотоміки і катакаустики як елементів відбивальної системи // О. Л. Підгорний, Л. М. Куценко // Труды / Таврическая гос. агротехн. академия. — Вип. 4, Т. 10. — Мелитополь : ТГАТА, 1999. — С. 14—18.
8. Ушаков Л. В. Проективання відбивача освітлювального приладу на основі квазіпараболи з неточковим фокусом / Л. В. Ушаков // Прикладна геометрія та інженерна графіка. — К. : КНУБА, 2006. — Вип. 76. — С. 137—142.

**Sergey SHEVCHENKO**  
Kharkiv

## **DEFINITION OF REFLECTOR PROFILE SHAPE FOR THE FIRE PROTECTION SMOKE DETECTOR**

*We considered a way of calculation for reflector of fire protection smoke detector, which profile of detector heads is defined by the focal line of the nonpoint beam detector.*

*Key words: smoke detector, nanocomposite materials, reflection system, focal line.*

**Сергей ШЕВЧЕНКО**  
г. Харьков

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОРМЫ ПРОФИЛЯ ОТРАЖАТЕЛЯ ПОЖАРНОГО ИЗВЕЩАТЕЛЯ ДЫМА**

*Рассмотрен способ расчета отражателей пожарных извещателей дыма, профиль чувствительных элементов которых определяется фокальной линией неточечного приемника лучей.*

*Ключевые слова: извещатель дыма, нанокмпозиционные материалы, отражательная система, фокальная линия.*

Стаття надійшла до редколегії 11.10.2016