



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **107170** (13) **C2**  
(51) МПК (2014.01)  
**G01J 5/00**

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(21) Номер заявки: **а 2013 14552**  
(22) Дата подання заявки: **12.12.2013**  
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: **25.11.2014**  
(41) Публікація відомостей про заявку: **11.03.2014, Бюл.№ 5**  
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: **25.11.2014, Бюл.№ 22**  
(72) Винахідник(и):  
**Слонов Михайло Юрійович (UA),**  
**Марилів Олександр Олександрович (UA),**  
**Топольницький Максим Валентинович (UA),**  
**Пилипчук Валентин Володимирович (UA),**  
**Марилів Олена Олександрівна (UA)**  
(73) Власник(и):  
**Слонов Михайло Юрійович,**  
пр. Правди, 64, кв. 259, м. Київ-108, 04108 (UA),  
**Марилів Олександр Олександрович,**  
вул. Мельникова, 81, м. Київ-176, 04050 (UA),  
**Топольницький Максим Валентинович,**  
вул. Білоруська, 40/15, кв. 304, м. Київ-119, 04119 (UA),  
**Пилипчук Валентин Володимирович,**  
вул. Героїв Севастополя, 23, кв. 54, м. Київ-061, 03061 (UA),  
**Марилів Олена Олександрівна,**  
вул. Мельникова, 81, м. Київ-176, 04050 (UA)

(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:  
ДМИТРИЄВ М.М., ПАНЧЕНКО О.М., ДЕРКАЧОВ О.Б., РУТКОВСЬКА І.А.  
Визначення крайових умов на поверхні аеродромного покриття для постановки завдання моделювання його теплового поля/ «Вісник національного авіаційного університету». - 2008. - № 1. (4 стор.)  
КАПЛАН В.Г., ЛИПАТОВ В.В., ЯЦЫК В.С.  
Экспериментальные исследования радиационных контрастов военнослужащих в среднем и дальнем инфракрасных диапазонах электромагнитного спектра / В.В. Липатов, В.С. Яцык / «Прикладная физика», 2006, № 5. - С. 108-113 (6 стор.)  
WO 9605523 A1, 22.02.1996  
CN 103335716 A, 02.10.2013  
JP 2010261814 A, 18.11.2010  
RU 2487222 C2, 10.09.2011  
RU 2387969 C1, 27.04.2010  
SU 1396114 A1, 15.05.1988  
RU 2281534 C1, 10.08.2006  
RU 2298818 C1, 10.05.2007  
SU 1383259 A1, 23.03.1988  
US 8212210 B2, 03.07.2012

## (54) СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОВІЗОРА

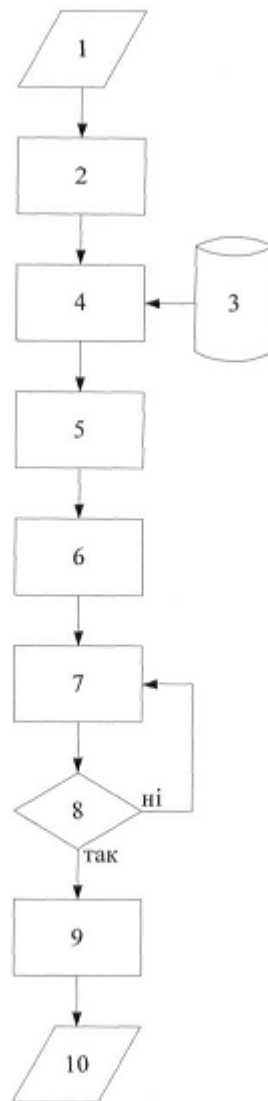
### (57) Реферат:

Винахід належить до науково-технічного напрямку виявлення та ідентифікації об'єкта інтересу та попереднього вибору умов проведення тепловізійної зйомки.

В основу винаходу поставлена задача підвищення ефективності застосування тепловізора.

Поставлена задача вирішена тим, що визначається зміна температури об'єкта і фону напередодні застосування тепловізора за допомогою математичної моделі, за якою в навколишньому середовищі основними видами теплообміну є конвективний та радіаційний, далі визначаються теплофізичні, географічні, геометричні та масогабаритні параметри об'єкта і фону, після чого аналітично розраховується значення їх температури для кожної години, будується графік прогнозованої зміни температури та вибираються інтервали часу доби для застосування тепловізора.

UA 107170 C2



Фиг. 1

Винахід належить до напрямку виявлення та ідентифікації об'єкта інтересу, пов'язаного з використанням тепловізора, зокрема до способів попереднього вибору умов проведення тепловізійної зйомки з метою підвищення її ефективності.

Задача своєчасного і достовірного виявлення об'єкта, а також його видового контролю, вирішується шляхом застосування оптико-електронних систем спостереження. Одними з найбільш ефективних представників оптико-електронних систем є тепловізори, але вони мають деякі особливості, які ускладнюють виявлення об'єкта. По-перше, процедури виявлення та розпізнавання об'єктів базуються на аналізі перепадів яскравості (контрасту "об'єкт-фон") та їх просторового розподілу в площині зображення, хоча більшості тепловізійних зображень притаманні невисокі величини контрасту "об'єкт-фон", що не гарантують можливості надійно виділяти та розпізнавати об'єкт на фоні [1-3]. По-друге, під впливом теплообмінних процесів навколишнього середовища відбувається зміна температури об'єкта протягом доби, а відповідно і його енергетичної світності. Як наслідок, в деякий час доби розпізнавання об'єкта здійснюється більш успішно, а в інший - менш успішно.

Тому, актуальною є задача підвищення ефективності застосування тепловізора, насамперед, за рахунок вибору раціональних інтервалів часу доби.

Відомо багато способів виявлення та розпізнавання об'єктів за допомогою тепловізора [2-7]. Всі вони базуються на тому положенні, що об'єкт та фон мають різну температуру, і, як наслідок, різну енергетичну світність. Розрізняючи відмінності в енергетичних світностях об'єктів на дисплеї тепловізора, можна розпізнавати та відокремлювати їх від фону.

Конкретні технічні рішення щодо способу, який пропонується, містяться в патенті [6] та в роботі [7].

У способі, що описаний в патенті [6], пропонується розпізнавання об'єктів за допомогою тепловізора. Даний спосіб включає наступні п'ять етапів:

1. Калібрування засобу вимірювальної техніки (тепловізора).
2. Отримання зображень місцевості.
3. Проведення порівняльного аналізу отриманих зображень.
4. Виділення ділянок зображення з різною енергетичною світністю.
5. Створення кінцевого узагальненого зображення місцевості.

На першому етапі проводиться калібрування засобу вимірювальної техніки (тепловізора) - сукупність операцій, що виконуються з метою визначення метрологічних характеристик та придатності засобу вимірювальної техніки до застосування в певних умовах [8]. Другий етап передбачає отримання зображень однієї сцени в інфрачервоному та видимому діапазоні у різні інтервали часу. На третьому етапі відбувається порівняння значень яскравості тепловізійних зображень, отриманих в різні часові інтервали. Виділення ділянок зображення, що мають різну енергетичну світність, шляхом алгебраїчного віднімання значень яскравості відповідних пікселів першого і другого зображення, є четвертим етапом. Останній, п'ятий етап, складається з накладання виділених ділянок зображення в інфрачервоному діапазоні спектра на відповідні ділянки у видимому діапазоні для отримання кінцевого узагальненого зображення місцевості.

Головна перевага даного способу полягає в тому, що він не потребує додаткових даних, окрім наявності власне самих зображень місцевості. Хоча йому притаманні наступні недоліки:

- виявлення об'єкта істотно ускладнюється або унеможлиблюється в тому випадку, коли на проміжку часу між отриманням першого і другого зображення його енергетична світність близька до фоновій;

- не враховується час доби, який впливає на швидкість зміни температури об'єкта.

Даний спосіб можна розглядати як аналог способу, що пропонується.

Вище перераховані недоліки усуваються в способі описаному в роботі [7]. Цей спосіб достатньо простий і ефективний та може розглядатися як прототип способу, що пропонується.

Спосіб-прототип полягає у проведенні наступних етапів:

1. Вибір об'єктів місцевості.
2. Калібрування засобу вимірювальної техніки (тепловізора).
3. Проведення натурного експерименту.
4. Побудова графіку залежності температури об'єктів і фону від часу доби.
5. Визначення інтервалів часу доби.
6. Застосування тепловізора.

На першому етапі вибирають об'єкти місцевості, що становлять інтерес. Другий етап передбачає калібрування засобу вимірювальної техніки (тепловізора). Третій етап - протягом доби проводиться натурний експеримент із визначення температури вибраних об'єктів. Побудова за отриманими даними графіку залежності температури об'єктів і фону від часу доби складає четвертий етап. Визначення на графіку інтервалів часу доби, коли різниця між

температурою об'єктів і фону максимальна, складає п'ятий етап. На останньому, шостому етапі, тепловізор застосовується у вибрані інтервали часу доби.

Перевагою способу-прототипу є те, що він не потребує інформації про фізичні властивості об'єкта, але має два суттєвих недоліки:

- 5 - необхідність значної затрати часу на проведення натурного експерименту;
- результати натурного експерименту характерні тільки для певних комбінації "об'єкт-фон" та не дозволяють прогнозувати раціональні інтервали часу доби для всіх інших комбінацій "об'єкт-фон".

10 Тому задачею даного винаходу є створення способу, який би підвищував ефективність застосування тепловізора за рахунок вибору раціональних інтервалів часу доби на основі використання математичної моделі, тим самим забезпечивши можливість прогнозування раціональних інтервалів часу доби за короткий проміжок часу для будь-яких комбінацій "об'єкт-фон".

15 Поставлена задача вирішується тим, що в способі підвищення ефективності застосування тепловізора (фіг. 1), який включає вибір об'єкта інтересу, відносно якого буде використовуватися тепловізор (блок 1), визначається день застосування тепловізора, за допомогою інформаційних ресурсів, додатково уточнюється прогноз погоди за такими показники атмосферного стану як максимальне і мінімальне значенням температури навколишнього середовища. Далі знаходиться значення різниці між максимальним і мінімальним значеннями

20 температури навколишнього середовища за виразом (1) (блок 2):

$$\Delta T_{\text{сер}} = T_{\text{сер max}} - T_{\text{сер min}}, \quad (1)$$

де  $\Delta T_{\text{сер}}$  - різниця між максимальною і мінімальною температурою навколишнього середовища, К;

$T_{\text{сер max}}, T_{\text{сер min}}$  - максимальна і мінімальна температура навколишнього середовища, К.

25 Наступним етапом є знаходження параметрів об'єкта і фону, а саме: об'єму речовини з якого складається об'єкт (фон), коефіцієнта поглинання теплового випромінювання, площі бічних поверхонь, коефіцієнтів теплопровідності, теплообміну та температуропровідності. Після цього передбачається вибір дня застосування тепловізора та уточнюється час сходу Сонця, довжина світлового дня і поверхнева густина теплового потоку Сонця (блок 3).

30 За допомогою математичної моделі, що представлена виразом (2) або його диференційною формою (3), розраховується погодинна зміна температури об'єкта і фону (блок 4):

$$T(t) = T_0 + \frac{at \left[ \frac{\alpha}{2} \Delta T_{\text{сер}} \left( \sin \left( \frac{\pi(t_n + t - t_c)}{t_{\text{cd}}} \right) - \sin \left( \frac{\pi(t_n - t_c)}{t_{\text{cd}}} \right) \right) S_k + \psi q \sin \left( \frac{\pi(t_n + t - t_c)}{t_{\text{cd}}} \right) S_p \right]}{\lambda V \left( 1 + \frac{a}{\lambda V} \alpha S_k t \right)}, \quad (2)$$

$$35 \quad \frac{dT(t)}{dt} = \frac{a \left( \psi q S_p + \frac{\alpha}{2} \Delta T_{\text{сер}} S_k \right) \left( \sin \left( \frac{\pi(t_n + t - t_c)}{t_{\text{cd}}} \right) + \frac{\pi}{t_{\text{cd}}} t \cos \left( \frac{\pi(t_n + t - t_c)}{t_{\text{cd}}} \right) \right) \left( 1 + \frac{a}{\lambda V} \alpha S_k t \right) - \frac{\alpha}{2} \Delta T_{\text{сер}} S_k \sin \left( \frac{\pi(t_n - t_c)}{t_{\text{cd}}} \right)}{\lambda V \left( 1 + \frac{a}{\lambda V} \alpha S_k t \right)}, \quad (3)$$

де  $T_0$  - початкова температура об'єкта (фону), К;

$a$  - коефіцієнт температуропровідності,  $\text{м}^2/\text{год.}$ ;

$t$  - час, протягом якого відбувається теплообмін, год.;

40  $\alpha$  - коефіцієнт тепловіддачі,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ;

$t_n$  - поточний час доби, год.;

$t_c$  - час сходу Сонця, год.;

$t_{\text{cd}}$  - довжина світлового дня, год.;

$S_k$  - площа поверхні об'єкта (фону), що бере участь у конвективному теплообміні,  $\text{м}^2$ ;

45  $S_p$  - площа поверхні об'єкта (фону), що бере участь у радіаційному теплообміні,  $\text{м}^2$ ;

$\psi$  - коефіцієнт поглинання теплового випромінювання об'єкта або фону;

$q$  - щільність теплового потоку від Сонця,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ ;

$\lambda$  - коефіцієнт теплопровідності,  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ;

$V$  - об'єм речовини з якого складається об'єкт (фон),  $m^3$ .

За отриманими розрахунковими значеннями температури об'єкта і фону будується графік її прогнозованої залежності від часу доби (блок 5), на основі якого приймається рішення про вибір інтервалів часу доби, коли значення температури об'єкта і фону максимально відрізняється між собою (блок 6).

Наступний крок складається з калібрування засобу вимірювальної техніки (тепловізора) та являє собою сукупності операцій, що виконуються з метою визначення метрологічних характеристик та придатності засобу вимірювальної техніки до застосування у визначених умовах [8].

При цьому передбачається, що калібрування тепловізора проводиться відповідно до вимог інструкцій щодо його використання (блок 7).

Якщо в результаті калібрування еталонні температурні показники тепловізора не відповідатимуть наведеним в інструкції по експлуатації, то проводиться черговий цикл калібрування й так далі, доти, поки не будуть досягнуті необхідні показники (блок 8).

Далі відбувається застосування тепловізора у визначені інтервали часу доби (блок 9), та отримання найбільш прийняттого тепловізійного зображення (блок 10).

Підвищення ефективності застосування тепловізора забезпечується за рахунок того, що визначення зміни температури об'єкта і фону напередодні застосування тепловізора розраховують на основі математичної моделі, за якою в навколишньому середовищі основними видами теплообміну є конвективний та радіаційний, визначають теплофізичні, географічні, геометричні та масогабаритні параметри об'єкта і фону, після чого аналітично розраховують значення їх температури для кожної години, будують графік прогнозованої зміни температури та визначають інтервали часу доби для застосування тепловізора.

Спосіб, що пропонується, пояснюється фіг. 1-4.

На фіг. 1 представлено зміст та схему виконання етапів, які складають пропонований спосіб, а саме:

1 - вибір об'єкта інтересу;

2 - визначення даних про зміну атмосферного стану в день, коли необхідно застосовувати тепловізор;

3 - узагальнення інформації про теплофізичні, географічні, геометричні і масогабаритні параметри об'єкта і фону та вибір дня застосування тепловізора;

4 - знаходження температури об'єкта і фону за допомогою використання математичної моделі;

5 - побудови графіку прогнозованої залежності температури об'єкта і фону від часу доби;

6 - вибір інтервалів часу доби для застосування тепловізора;

7 - калібрування засобу вимірювальної техніки (тепловізора);

8 - оцінювання результатів проведеного калібрування;

9 - застосування тепловізора;

10 - отримання найбільш прийняттого тепловізійного зображення.

З метою перевірки ефективності запропонованого способу проведено натурний експеримент по визначенню зміни температури об'єктів і фону при аналогічних умовах. Розрахунки зміни температури об'єктів за математичною моделлю (2) графічно відображені на фіг. 2. День застосування тепловізора - 6 серпня 2013 року. Дані для розрахунків отримані з джерел [1-3, 9-12] та наведені в табл. 1.

Таблиця 1

## Теплофізичні властивості об'єктів

	№ з/п	T <sub>0</sub> , K	a, 10 <sup>-5</sup> хм <sup>2</sup> /год	α, Вт/м <sup>2</sup>	λ, Вт/(м·К)	V, 10 <sup>-5</sup> ·м <sup>3</sup>	S <sub>к</sub> , 10 <sup>-2</sup> ·м <sup>2</sup>	S <sub>р</sub> , 10 <sup>-2</sup> ·м <sup>2</sup>	q, Вт/м <sup>2</sup>	ψ	ΔT <sub>сер</sub> , К	t <sub>п</sub> , год	t <sub>с</sub> , год	Δt <sub>сд</sub> , год
Фон (ґрунт)	№ 1	315,5	1,1811	11	16,24	5000	100	100	974	1	13	10	6	12
Об'єкти	Група № 1 (керамічні)	№ 1	309,6	0,0053	9	0,28	4,61	0,9888	0,768					
		№ 2	322,5	0,202	8	0,04	1,96	0,7497	0,6525					
		№ 3	307,3	0,1159	11	1,28	192,5	7,79	2,75					
	Група № 2 (дерев'яні)	№ 4	320,9	0,011	12	0,12	0,0679	1,113	0,36					
		№ 5	315	0,0011	10	0,04	0,805	1,1132	0,4758					
		№ 6	322,1	0,0184	12	0,2	16,7	1,782	1,11					
	Група № 3 (металеві)	№ 7	317,2	2,0624	10	74	1,13	0,9903	0,943					
		№ 8	314,4	2,0624	10	74	0,708	0,4132	0,354					
		№ 9	322,3	2,0624	11	74	1,24	0,6221	0,62					

3 фіг. 2 видно, що найбільш раціональним інтервалом для застосування тепловізора є час доби з 11:00 до 13:00 години дня, коли різниця між температурами заданих об'єктів максимально відрізняється.

У період максимальних значень температур різниця між температурами самого теплого і холодного об'єктів складає 80 К, протягом нічного періоду доби вона майже не відрізняється і досягає найбільшої різниці в 10 К біля 24:00 години. Також існує інтервали часу, коли різниця між температурою об'єктів і фону практично однакова, що призводить до неможливості ефективного застосування тепловізора. У зв'язку з наявністю достатньої відмінності між температурами різних об'єктів тепловізійне спостереження 6 серпня 2013 року краще проводити в інтервал часу з 11:00 до 13:00 години дня.

Результати натурного експерименту графічно відображені на фіг. 3, а тепловізійні зображення об'єктів на фоні, в різний час доби - на фіг. 4.

Отримані результати підтверджують, що запропонований спосіб ефективний та дозволяє усунути недоліки способу-прототипу.

По-перше, математична модель запропонованого способу дозволяє проводити розрахунки для будь-яких об'єктів, враховуючи їх теплофізичні, географічні, геометричні і масогабаритні параметри та вплив теплообмінних процесів в навколишньому середовищі.

По-друге, на відміну від способу-прототипу, затрати часу, для застосування тепловізора зменшуються в 12 раз, які можна розрахувати на основі виразу (4).

$$K = \frac{t'}{t''} = \frac{24}{2} = 12, (4)$$

де K - величина, що показує в скільки разів затрати часу на застосування тепловізора менші, ніж у способу-прототипі;

t' - час за способом-прототипом, год.;

t'' - інтервал часу доби для застосування тепловізора при використанні запропонованого способу, год.

Крім того, використання запропонованого способу дозволяє визначати інтервали часу доби, коли застосування тепловізора найменш ефективне.

Джерела інформації:

1. Ребрин Ю.К. Инфракрасные иконические системы: [підруч. для студ. вищ. навч. закл.] / Ребрин Ю.К. - К.: КВВАИУ, 1985. - 86 с.

2. Госсорг Жильбер. Инфракрасная термография. Основы, техника, применение / Жильбер Госсорг; [пер. с франц. Н.В. Васильченко]. - М.: Мир, 1988. - 416 с.

3. Джордж Ллойд. Системы тепловидения / Джордж Ллойд; [пер. с англ. Н.В. Васильченко]. - М.: Мир, 1978. - 414 с.

4. Kinch M.A. Fundamentals of infrared detector materials: [підруч. для студ. вищ. навч. закл.] / Kinch M.A. - Washington, USA: SPIE Press, 2007. - 173 p.

5. Riedl M.J. Optical Design Fundamentals for Infrared Systems: [підруч. для студ. вищ. навч. закл.] / Riedl M.J. - Washington, USA: SPIE Press, 2001. - 181 p.

6. Patent № 8,212,210 United States, International Classes: G01J 5/00. IR camera and method for presenting IR information / Hargel, Martin - Publication Date: 03/07/2012.

7. Каплан В.Г. Экспериментальные исследования радиационных контрастов военнослужащих в среднем и дальнем инфракрасных диапазонах электромагнитного спектра / В.Г. Каплан, В.В. Липатов, В.С. Яцык // Прикладная физика, 2006. - № 5. - С. 108-113.

8. Метрологія. Терміни та визначення: ДСТУ.2681-94. - [Чинний від 1994.07.27]. - К.: Держстандарт України 1994. - 68 с. - (Національні стандарти України).

9. Дмитрієв М.М. Визначення крайових умов на поверхні аеродромного покриття для постановки завдання моделювання його теплового поля / М.М. Дмитрієв, О.М. Панченко, О.Б. Деркачов, І.А. Рутковська // Вісник національного авіаційного університету, 2008. - № 1. - С. 161-164.

10. Димніч А.Х. Теплопровідність: [підруч. для студ. вищ. навч. закл.] / А.Х. Димніч, О.А. Троянський. - Донецьк, 2003. - 370 с.

11. Ярышев Н.А. Теоретические основы измерения нестационарной температуры / Ярышев Н.А. - Л.: Энергоатомиздат, 1990. - 256 с.

12. Юдаев Б.Н. Теплопередача: [підруч. для студ. вищ. навч. закл.] / Юдаев Б.Н. - М.: Высш. шк., 1973. - 360 с.

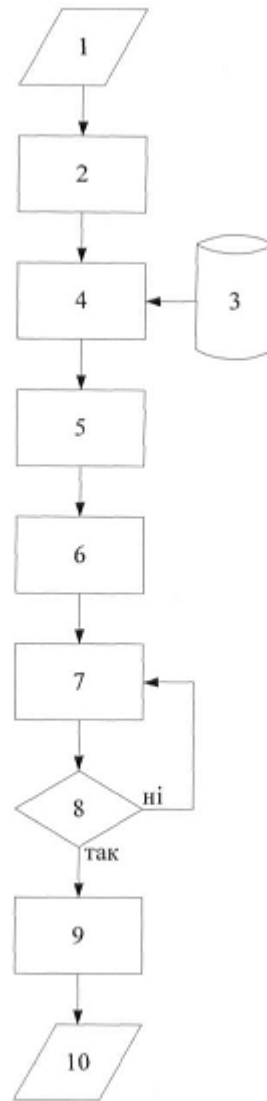
#### ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

15

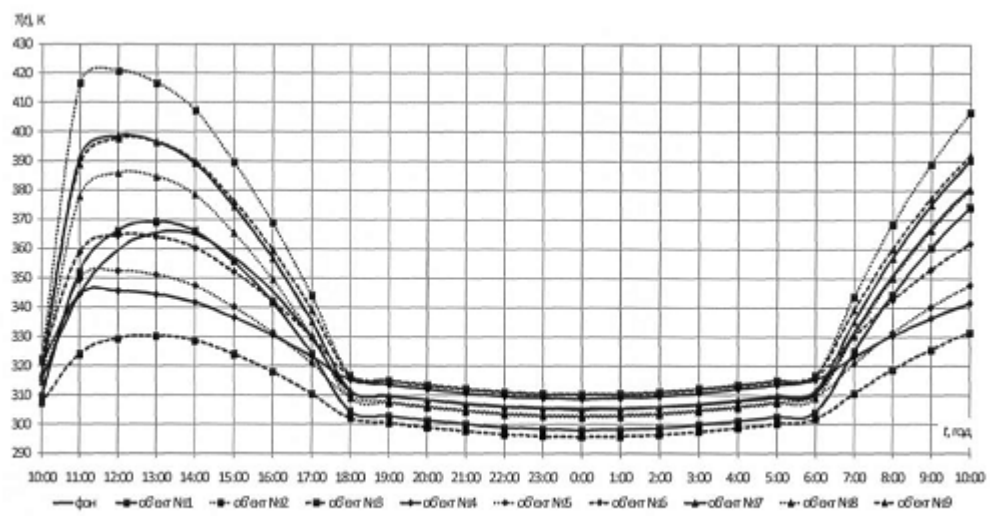
Спосіб підвищення ефективності застосування тепловізора, у складі якого об'єкт, що становить інтерес, і фон, за якими для прогнозування раціональних інтервалів часу застосування тепловізора проводять натурний експеримент по визначенню зміни температури об'єкта і фону протягом доби, за отриманими експериментальними даними будують графік залежності температури об'єкта і фону від часу доби та знаходять інтервали часу, коли різниця між температурою об'єкта і фону максимальна, після чого застосовують тепловізор у визначені часові інтервали та отримують найбільш прийнятне тепловізійне зображення, який **відрізняється** тим, що визначення зміни температури об'єкта і фону напередодні застосування тепловізора розраховують на основі математичної моделі, за якою в навколишньому середовищі основними видами теплообміну є конвективний та радіаційний, визначають теплофізичні, географічні, геометричні та масогабаритні параметри об'єкта і фону, після чого аналітично розраховують значення їх температури для кожної години, будують графік прогнозованої зміни температури та визначають інтервали часу доби для застосування тепловізора.

20

25

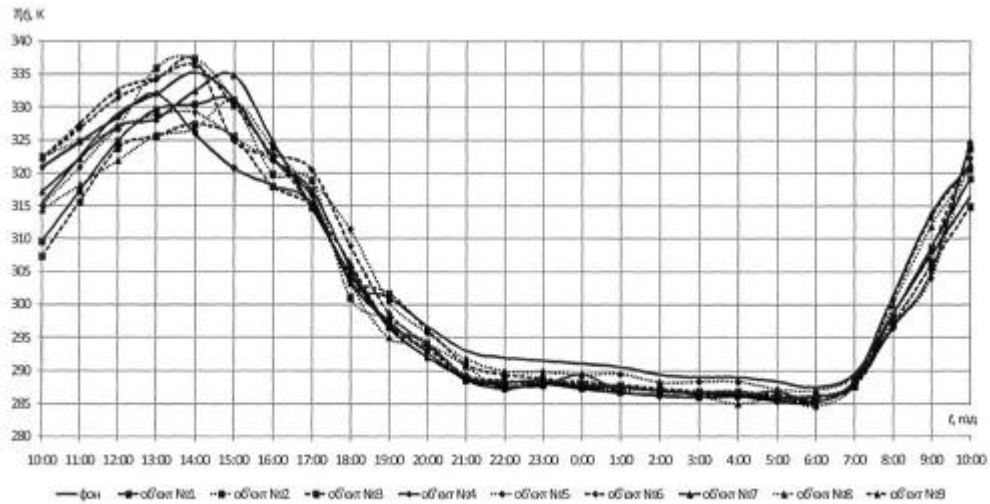


Φιγ. 1

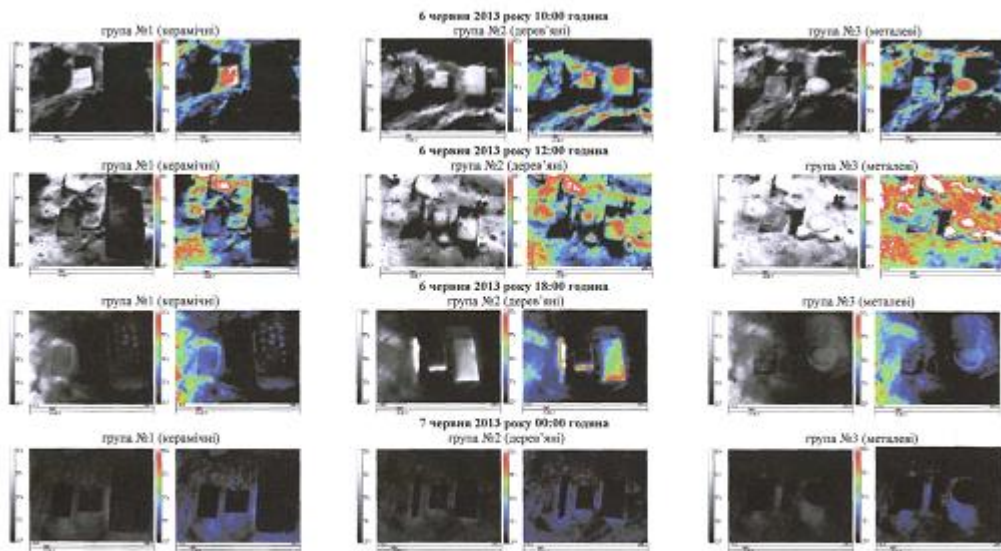


Φιγ. 2





Фиг. 3



Фиг. 4

Комп'ютерна верстка А. Крулевський

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601