

**НАУКОВІ ТА ПРАКТИЧНІ ПРОБЛЕМИ ВИРОБНИЦТВА
ПРИЛАДІВ ТА СИСТЕМ**

УДК 681.7.013.8

**МЕТОДИ ЗМЕНШЕННЯ ШУМІВ ЗОБРАЖЕНЬ У ТЕПЛОВІЗОРАХ З
МІКРОБОЛОМЕТРИЧНОЮ МАТРИЦЕЮ**

Колобродов В. Г., Костирко І. М.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
м. Київ, Україна*

Розглянуто основні методи зниження шумів тепловізійних зображень, котрі виникають внаслідок використання в тепловізійній камері мікроболометричної матриці. Для моделювання шумів було застосовано закон Гауса. Ефективність методів визначалася за допомогою розрахунку відношення сигнал/шум. Отримано залежності відношення сигнал/шум від параметрів фільтрів, таких як фільтр згладжування Гауса, лінійний метод усереднення, фільтр Вінера та медіанний фільтр. Для повного та об'єктивного аналізу побудовано таблицю, що базується на певних візуальних характеристиках.

***Ключові слова:** тепловізор, мікроболометрична матриця, цифрова обробка зображення, лінійна фільтрація.*

Вступ

У сучасному світі використання тепловізійних систем знаходить широке практичне застосування в багатьох сферах. Все більше застосовуються тепловізори на основі мікроболометричних матриць через їх меншу вартість і мобільність порівняно з іншими тепловізорами. Зображення, яке створюють такі тепловізійні системи, завжди супроводжується шумовими сигналами, що заважають виявленню об'єкта спостереження та його розпізнаванню. Особливої шкоди шумові сигнали завдають системам, що працюють з малоконтрастними об'єктами на великій дальності спостереження.

Розвиток сучасних тепловізійних систем спостереження дійшов до теоретичної межі. Так, покращення якості зображення важко отримати внаслідок конструктивних рішень. Вирішити це питання можна за допомогою цифрової обробки зображення, реалізувавши її таким чином, щоб можна було мінімізувати вартість системи та зберегти її характеристики. Правильне застосування методів обробки зображення дозволяє збільшити максимальну дальність виявлення і розпізнавання малоконтрастних об'єктів спостереження.

Технологія виробництва мікроболометричних матриць не дозволяє виготовити матрицю з абсолютно ідентичних елементів, отже, зображення, що отримується з такої матриці, має просторову неоднорідність. Внаслідок різних чутливостей та темнового струму окремих пікселів створюються згадані вище просторові неоднорідності. Саме ці неоднорідності і створюють шуми на тепловізійному зображенні. На сьогодні відомо багато методів покращення зображення, що спотворені шумами. Перед розробником тепловізійного приладу постає задача обрання методу, що найбільше задовольнить необхідні умови.

Таким чином, постає задача вибору методу цифрової обробки, котрий забезпечить високу швидкодію, найвищу якість обробленого зображення. Вибір методу також залежить від сфери застосування тепловізійного приладу. У даній статті пропонується розглянути ефективність певних методів цифрової обробки зображень у тепловізійних системах з мікроболометричною матрицею, котрі працюють на великій дальності спостереження.

Постановка задачі

Метою дослідження є пошук ефективнішого методу цифрової обробки зображення для зменшення шумів на тепловізійному зображенні, котрий дає найвище значення відношення сигнал/шум.

Методи зменшення шумів

Під цифровою обробкою тепловізійного зображення в реальному масштабі часу розуміється обробка чергового накопиченого кадру, тобто з затримкою на один кадр. До важливих характеристик методів зниження шумів зображення можна віднести не тільки якість самого методу, а й його швидкодію. Любий метод фільтрації зображення з метою зменшення шумів має подвійний ефект: зміна шумових характеристик, зміна даних. Останній ефект є небажаним, отже фільтр повинен бути таким, котрий мінімально змінює важливі дані на зображенні.

Вимоги до результатів цифрової обробки зображення, що отримується на виході з тепловізора з мікроболометричною матрицею, часто аналогічні вимогам телевізійного зображення. Відомо, що найкращу якість зображення можна отримати за умови застосування алгоритмів на основі вейвлет перетворень та методу головних компонент, але вони мають низьку швидкодію [1]. Таким чином, було обрано чотири наступні базових метода обробки зображення для їх подальшого аналізу: медіанна фільтрація, фільтр розмиття Гауса, лінійний метод усереднення, фільтр Вінера.

Фільтр Гауса (розмиття Гауса) застосовують для згладжування зображення, завдяки чому й зменшується рівень шумів. До переваг фільтру Гауса можна віднести симетричність функції, завдяки чому відсутня необхідність визначення напрямлення вікна функції згладжування, також важливою перевагою є лише одна опуклість функції. Таким чином фільтр замінює кожен піксель зваженим середнім значенням. $f(i, j)$ – коефіцієнт розмиття Гауса має наступний вигляд [2]:

$$f(i, j) = ae^{-\frac{i^2+j^2}{2\sigma^2}}, \quad (1)$$

де i, j – координати сусіднього піксель, a – параметр, що забезпечує нормування, σ – коефіцієнт, котрим визначають ступінь згладжування. Останній параметр є основним, за допомогою якого можна маніпулювати рівнем розмиття.

Усереднення проводилося прямокутним фільтром для охоплення усього зображення (також можливе усереднення за круговим фільтром). Такий фільтр відноситься до лінійної просторової фільтрації, тобто кожен піксель оброблено-

го зображення отримується комбінацією деяких пікселів вихідного зображення. Даний фільтр згладжує зображення, вихідним значенням котрого є середнє значення околиць маски фільтра. Ступінь згладжування регулюється розміром вікна. Це найпростіший спосіб фільтрації зображення. До його недоліків відносять розмиття малих деталей зображення.

Медіанний фільтр часто дає кращі результати, ніж звичайний фільтр усереднення. Це метод нелінійної обробки сигналів. Він являє собою вікно, що переміщується. Центральний елемент замінюється медіаною усіх елементів зображення у вікні. Однією з методик зниження шумів за допомогою фільтру є застосування вікна з розмірами 3x3 пікселі. Потім, якщо ослаблення сигналу є незначним, вікно фільтра розширюється. Також можна застосовувати прямокутне вікно або близьке до кругового. Але відомо, що двовимірний фільтр з квадратним вікном забезпечує більш ефективне поглинання шумів, ніж одновимірний, незважаючи на те, що двовимірна обробка приводить до більшого ослаблення сигналу.

Фільтр Вінера реалізується на основі інверсної фільтрації, котрий об'єднує в собі врахування властивостей функції спотворення та статистичних властивостей шумів. Метод заснований на врахуванні зображень та шуму як випадкових процесів. Задачею фільтра є знаходження певної оцінки для неспотвореного зображення, щоб середнє квадратичне відхилення цих величин було мінімальним. Цей фільтр також називають фільтром мінімального середнє квадратичного відхилення [2]. Він відноситься до лінійного типу адаптивних фільтрів. Якщо значення середнє квадратичного відхилення інтенсивності пікселів у певній області більше, то цей фільтр виконує згладжування. Цей підхід є більш ефективним, ніж звичайна лінійна фільтрація. Особливістю та перевагою серед інших базових є те, що він зберігає кордони частин об'єктів зображення. Недоліком є те, що він потребує більше часу для обробки зображення. Незважаючи на це, розміри тепловізійного зображення зазвичай не перевищують 640x480 пікселів, отже його можна застосовувати для зниження шумів, зберігаючи при цьому зовнішні кордони об'єкту спостереження. Це є важливою властивістю для подальшого розпізнавання та подальшого стиснення зображення.

Усі перераховані вище фільтри з деякими модифікаціями можуть застосовуватися у часовій області. Ця умова є важливою для обробки зображень у сучасних тепловізійних системах на основі мікроболометричних матриць.

Алгоритм та результати досліджень

Аналіз та пошук якісних методів обробки зображення потребує моделювання тепловізійного зображення, а також шумів на ньому, що відповідають тепловізійній системі. Методику досліджень можна розділити на моделювання зображення, накладання шуму на нього, обробку зображення методом фільтрації, що оцінюється, оцінку методу за певними обраними характеристиками.

Для моделювання зображення нами було використане напівтонове зображення, котре надходить з тепловізійних систем на основі мікроболометричної

матриці розміром 640x480 пікселів. Вибір такого розміру був обраний через розповсюдженість матриць цього формату.

Для вирішення поставленої задачі необхідно було застосувати генератор шумів. Шуми, котрі присутні у тепловізорах з мікроболометричною матрицею через її неоднорідність, описують в якості випадкової величини з розподіленням Гауса, так як ці шуми часто можна описати законом нормального розподілення.

Шум Гауса описується виразом [1]:

$$\Phi_{a,\sigma^2}(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(t-a)^2}{2\sigma^2}} dt, \quad (2)$$

де a – математичне очікування випадкової величини, σ^2 – дисперсія випадкової величини.

Математичне очікування було обране рівним 0,01, дисперсія випадкової величини – 0,0003.

Далі зображення реставрується за допомогою вище згаданих методів фільтрації. В якості метрики об'єктивного вимірювання ступеню зниження шумів була обрана характеристика зображення сигнал/шум PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio), що вимірюється в децибелах (дБ).

Вибір цієї метрики обумовлений її широким застосуванням. Також її використовують для оцінки спотворень, що вносяться при стисненні зображення чи відео послідовності [3,4].

$$PSNR(i, j) = \frac{signal}{noise} = 20 \lg \left(\frac{MAX_f}{\sqrt{MSE}} \right), \quad (3)$$

де MSE – (Mean Squared Error) – середня квадратична похибка,

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_0^{m-1} \sum_0^{n-1} \|f(i, j) - g(i, j)\|^2, \quad (4)$$

де f – матричне значення оригінального зображення, g – матричне значення обробленого зображення одним із методів, m – кількість рядків пікселів зображення, n – кількість стовпчиків пікселів, i, j – індекси, MAX_f – максимальне значення сигналу в оригінальному зображенні.

У даному випадку $MAX_f = 255$, отже:

$$PSNR(i, j) = 20 \lg \left(\frac{255}{\sqrt{MSE}} \right). \quad (5)$$

Змодельоване зображення представлено на рис. 1, а, зображення, спотворене шумами, на рис. 1, б. При цьому, рівень PSNR=8.2 дБ.

Як згадувалося вище, при застосуванні фільтра розмиття Гауса для зміни рівня згладжування змінюють значення дисперсії σ^2 .

Для знаходження найкращого варіанту був побудований графік залежності значення сигнал/шум від дисперсії (рис. 2).

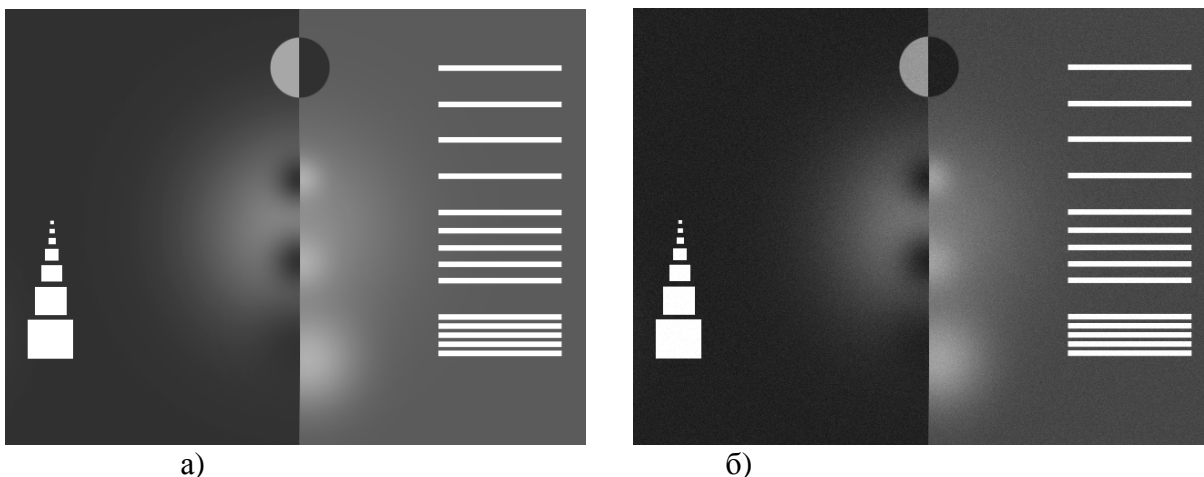


Рис. 1. а – змодельоване оригінальне зображення; б – зображення, спотворене шумом Гауса

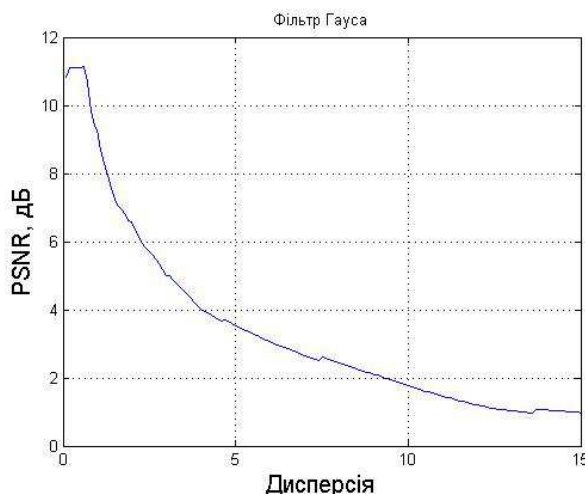


Рис. 2. Залежність відношення сигнал/шум від дисперсії при обробці зображення фільтром згладжування Гауса

З розрахунків та з графіку видно, що максимальне значення сигнал/шум (PSNR=10,7 дБ) набуває при дисперсії, рівній 0,6. Тобто, найкращу якість зображення, якщо оцінювати за цим параметром, буде при такій дисперсії. Рівень відношення сигнал/шум внаслідок фільтрування методом Гауса збільшився.

На рис. 3 представлені графіки залежності рівня сигнал/шум від розмірів масок лінійного фільтру усереднення, медіанного фільтру, фільтра Вінера. Попередньо було встановлено, що ці фільтри дають найкращі результати при квадратних масках.

При лінійному методі усереднення для отримання максимального відношення сигнал/шум необхідно застосовувати фільтр з вікном, розміром 3x3 пікселі, при медіанній фільтрації – 5x5 пікселів та при фільтрі Вінера – 6x6 пікселів. Дані відношення сигнал/шум для цих розмірів масок занесені до табл. 1. З графіка на рис. 3в помітно, що для отримання кращої якості при медіанній фільтрації, необхідно, щоб розмір фільтра був непарним.

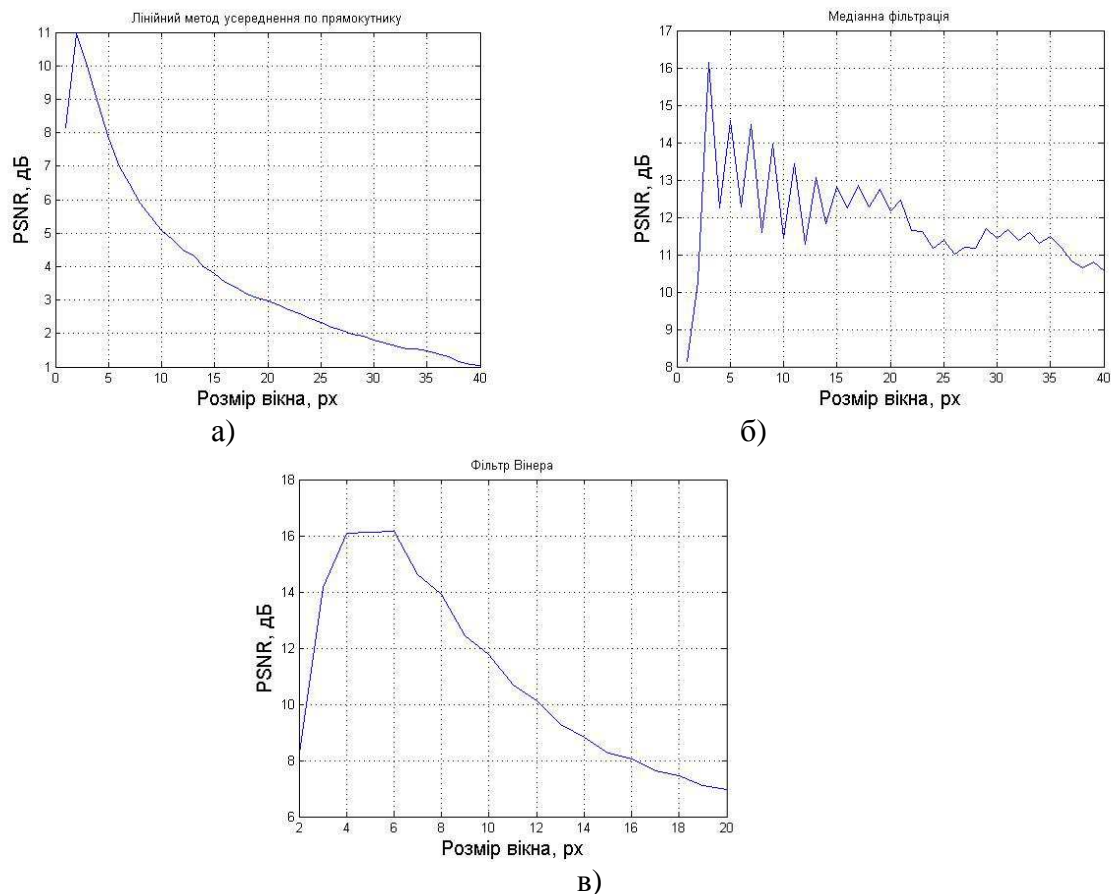


Рис. 3. Графіки залежності відношення сигнал/шум від розміру вікна (маски) при: а – лінійному методі усереднення; б – медіанній фільтрації; в – обробці фільтром Вінера

Безумовно, чим ближче відфільтроване зображення до оригінального, тим більше значення PSNR, і тим краще вважається якість методу фільтрації. Але така методика оцінювання дозволяє оцінити лише середньоквадратичну різницю між зображеннями, тому більше значення PSNR не завжди відповідає кращому візуальному сприйняттю. Знижуючи шум зазвичай зображення розмивається, а отже, можуть зникати невеликі деталі зображення чи контури об'єктів спостереження. Тому, необхідно врахувати й візуальний фактор оцінки методів фільтрації. На рис. 4 зображені оброблені зображення з застосуванням чотирьох методів та з їх параметрами, що відповідають попередньо розрахованим найбільшим відношенням сигнал/шум.

Згідно з наведеними зображеннями на рис. 4 візуально можна визначити недоліки та переваги фільтрів, тому що не тільки характеристика сигнал/шум описує якість методу обробки. Проаналізовані дані занесені до табл. 1.

Підсумовуючи результати фільтрації, можна зауважити, що якість методу фільтрації дуже залежить від зорового сприйняття, а також і від відношення сигнал/шум. Це свідчить про те, що вибір методу покращення якості зображення залежить від сфери застосування. Так, у системах спостереження, де не важли-

во збереження кордонів об'єкту, слід застосовувати лінійну фільтрацію та медіанну.

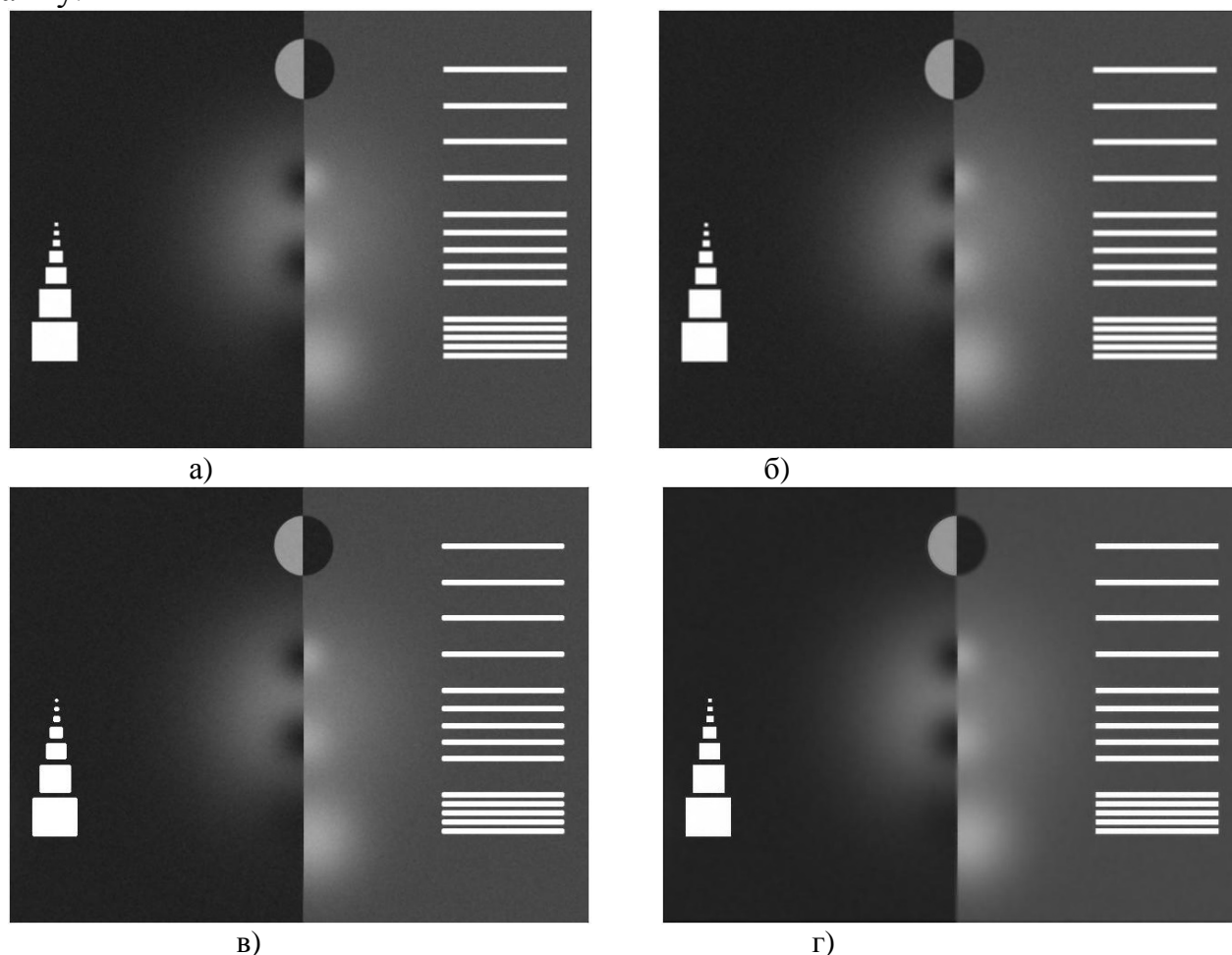


Рис. 4. Відфільтровані зображення: а – фільтром Гауса, б – лінійним фільтром усереднення, в – медіанним фільтром, г – фільтром Вінера

Таблиця 1. Аналіз методів зниження шумів

Метод	Спотворення кордонів об'єкту	Розмиття кордонів об'єкту	PSNR	Параметр фільтру дисперсія/розмір вікна
Фільтрація Гауса	немає	слабке	11.1254 дБ	0,6
Лінійна фільтрація усереднення	немає	середнє	10.9690 дБ	3x3
Медіанна фільтрація	середнє	немає	16.3613 дБ	5x5
Фільтрація Вінера	слабке	немає	16.1673 дБ	6x6

В іншому випадку більше підходить застосування методів Вінера та фільтрації Гауса. Необхідно зауважити, що внаслідок фільтрації за допомогою філь-

тра Гауса створюється так званий крайовий ефект, котрий може спотворити важливий сигнал на краю зображення. Системи спостереження, де застосовується такий метод мають бути розраховані так, щоб об'єкт знаходився ближче до центру зображення. Найкращим методом зниження шумів виявилася фільтрація Віна, незважаючи на те, що PSNR вона має нижчий ніж медіанна фільтрація.

Висновки

За допомогою проведених досліджень можна об'єктивно визначити метод, котрий слід застосовувати для певної задачі тепловізійної системи на основі мікроболометричної матриці. Найкращий результат показав метод зниження шумів у зображенні за допомогою фільтрації Вінера.

Було розроблено алгоритм об'єктивного дослідження якості методу обробки цифрового зображення. Розроблений алгоритм дає можливість обрати метод та його параметри, що дають найкращий візуальний результат, а також значення PSNR.

Для подальшого покращення зображень після зниження шумів можливі варіанти комбінування різних методів, також застосування інших методів підвищення якості. Важливим є подальший аналіз методів для підвищення чіткості тепловізійних зображень на основі мікроболометричних матриць після алгоритмів зниження шумів.

Література

1. Прэтт У. Цифровая обработка изображений; пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – Кн. 2 – 312 с.
2. Р. Гонгалес, Р. Вудс. Цифровая обработка изображений; пер. с англ.; под ред. Чо-чиа. Москва.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
3. Nationl Instruments, Peak Signal-to-Noise Ratio as an Image Quality Metric, sep. 11, 2013. – 2р.
4. Колобродов В. Г. Проектування тепловізійних систем спостереження: підручник / В. Г. Колобродов, М. І. Лихоліт. – К.: НТУУ «КПІ», 2007. – 364 с.

*Надійшла до редакції
12 березня 2014 року*

© Колобродов В. Г., Костирко І. М., 2014

УДК 519.876.5

ЭФФЕКТИВНОЕ СРЕДСТВО ЗАЩИТЫ РЕЗЕРВУАРОВ ОТ ВЕТРОВОЙ НАГРУЗКИ. ЧАСТЬ 2. МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕТРОВОЙ НАГРУЗКИ

Цыбульник С. А.

*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,
г. Киев, Украина*

Особенностью имитационного моделирования является то, что имитационная модель позволяет воспроизводить моделируемые объекты с сохранением последовательности чередования во времени событий, происходящих в системе, т.е. динамики взаимодействий. Благодаря своим преимуществам имитационное моделирование было выбрано основным