

ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ РУХУ МІКРООБ'ЄКТА ТЕЛЕВІЗІЙНИМ ОПТИЧНИМ СКАНУВАЛЬНИМ МІКРОСКОПОМ У КАДРОВОМУ РЕЖИМІ РОБОТИ

© Матієшин Ю.М., Шклярський В.І., 2007

У статті містяться відомості про особливості використання кадрового режиму роботи для вимірювання швидкості руху мікрооб'єкта у телевізійному оптичному сканувальному мікроскопі. Розглянуто питання методики визначення швидкості руху мікрооб'єкта. Запропоновано алгоритми роботи мікроскопа, які дають змогу визначити швидкість руху мікрооб'єкта для різних діапазонів вимірюваної швидкості.

Paper is consisting of data about frame mode of the television optical scanning microscope employment peculiarities for determination of the dynamic microobject velocity. Questions of the determination of microobject velocity method are considered. Algorithms of microscope working, which permit to determinate of the dynamic microobject velocity in different velocity ranges, are offered.

Вступ. Кадровий режим формування зображень досліджуваних мікрооб'єктів широко використовується у телевізійних вимірювальних системах на базі персонального комп'ютера [1,2]. У відомих телевізійних системах цей режим використовується насамперед візуального спостереження за рухом об'єкта і дає лише часткову можливість визначити числові параметри його руху. Передусім може йтися про середню швидкість руху, якщо досліджуваний об'єкт рухається непрямолінійно і зі змінною швидкістю (хаотично). Окрім того чисельне визначення значення швидкості руху можливе лише для тих випадків, коли швидкість руху досліджуваного об'єкта є значно нижчою від швидкості руху променя по кадру під час проектування його зображення на екран передаючої камери.

Огляд та аналіз літератури. Відомими є телевізійні методи дослідження динамічних параметрів рухомих мікрооб'єктів за допомогою телевізійних камерних мікроскопів [3,4]. У цих роботах висвітлені такі питання: 1) аналіз переміщення та рухливості динамічних мікрооб'єктів; 2) методи виявлення та утримання мікрооб'єкта в полі зору мікроскопа; 3) аналіз зображень для отримання надійних та відтворюваних даних про кількість, положення, фазу руху та швидкість мікрооб'єктів у мікробіології та медицині. Згадані задачі розв'язують винятково застосуванням комп'ютерних програм для цифрової обробки зображень. У [4], зокрема, згадуються певні алгоритми виявлення та аналізу руху мікрооб'єктів визначенням відмінностей у парах сусідніх між собою кадрів зображення.

Постановка задачі і її зв'язок з важливими науковими завданнями. Значно розширити діапазон вимірювання швидкості руху динамічних мікрооб'єктів можна в сканувальному оптичному телевізійному мікроскопі з цифровим способом формування розгортки сканувальної плями на екрані електронно-променевої трубки. Ця стаття містить відомості про можливість такого мікроскопа під час дослідження швидкості руху мікрооб'єктів у кадровому режимі вимірювання. Використання цього режиму у таких галузях, як біологія та медицина дозволить розширити інформацію про рух окремого мікрооб'єкта при його хаотичному русі (миттєве значення швидкості, напрям руху, траєкторія руху тощо).

1. Формування растра в телевізійному оптичному сканувальному мікроскопі

Принциповою особливістю сканувального телевізійного мікроскопа порівняно з камерним є можливість за допомогою блока керування не тільки програмно, але й апаратно змінювати режими формування сканувального растра на екрані трубки. Це дає можливість реалізувати використання растрів різних розмірів (наприклад, повноформатного, зменшених розмірів, мінірастра чи мікрорастра),

що дозволить вимірювати швидкість руху мікрооб'єкта з великою точністю та в широкому діапазоні значень [5,6]. До того ж можливим є також формування траєкторії руху досліджуваного мікрооб'єкта.

Як відомо, швидкість руху мікрооб'єкта визначається як відношення віддалі, на яку змістився мікрооб'єкт при двох послідовних скануваннях, до часу, який минув між двома виявленнями мікрооб'єкта. Очевидно, що розширити діапазон вимірюваних швидкостей у бік збільшення за збереження точності вимірювання, можна зменшенням часу, який минає між двома виявленнями мікрооб'єкта. Зменшення часу можливе за рахунок зменшення тривалості формування одного кадру розгортки. Зменшити час формування одного кадру розгортки можна зменшенням кількості елементів розкладу зображення в одному кадрі (режим растра зменшених розмірів) або припиненням подальшого формування растра під час визначення координат досліджуваного мікрооб'єкта.

Для вимірювання швидкості руху мікрооб'єкта найзручніше використовувати в мікроскопі сканувальний растр квадратної форми з однаковою кількістю елементів розкладу зображення по кожній координаті. При тому можна виділити чотири основних типи растрів згідно з їх розмірами:

- *повноформатний* – сканувальний растр максимальних розмірів. Використовується найчастіше в режимі пошуку мікрооб'єкта або в тому разі, коли необхідно дослідити мікрооб'єкт великих розмірів при мінімальному коефіцієнті збільшення. Мікрооб'єкт великих розмірів має розміри, які становлять 5–40 % розміру повноформатного растра у площині дослідження;

- *растр зменшених розмірів* – (10–90 % розміру повноформатного растра). Застосовується тоді, коли необхідно виміряти швидкість мікрооб'єкта малих розмірів (співрозмірних із мінімальним розміром сканувальної плями). Зменшення розмірів сканувального растра без зміни його роздільної здатності (розмірів та віддалі між окремими положеннями сканувальної плями) призводить до розширення діапазону вимірюваної швидкості руху мікрооб'єкта за рахунок збільшення швидкості сканування згідно з формулою:

$$V_C' = V_C \cdot (N / N')^2, \quad (1)$$

де V_C , V_C' – швидкості сканування повноформатним та зменшеним сканувальним растром відповідно; N , N' – кількості положень сканувальної плями у рядку повноформатного та зменшеного сканувального растра відповідно. Додаткове зміщення зменшеного сканувального растра в межах робочого поля мікроскопа дозволяє реалізувати режим стеження за мікрооб'єктом малих розмірів;

- *мінірастр* – має розмір, що є значно меншим від розміру повноформатного растра (як правило, розмір мінірастра знаходиться в межах 1–10 % розміру повноформатного растра). Мікрооб'єкти, що мають досить складну неоднорідну структуру та неправильну форму, достатньо легко відтворюються кадровим методом сканування за допомогою регулювання збільшення мікроскопа за допомогою зменшення розміру растра до величини мінірастра. Це дає можливість детально дослідити окремі фрагменти мікрооб'єкта в статичному режимі та виміряти динамічні параметри мікрооб'єкта малих розмірів;

- *мікрорастр* – має розміри, що не перевищують 1% розміру повноформатного растра. Доцільність використання такого растра обумовлена необхідністю вимірювання швидкості малих мікрооб'єктів (розміри яких співрозмірні з діаметром сканувальної плями в площині мікрооб'єкта) і які рухаються хаотично з великою швидкістю. Цей режим забезпечує вимірювання максимального значення швидкості руху мікрооб'єкта при одночасному забезпеченні високої точності вимірювань.

Додатково необхідно відмітити, що режими мінірастра та мікрорастра можуть бути використані для слідування за мікрооб'єктом з метою відображення його в центральній частині екрана монітора персонального комп'ютера або телевізійного монітора.

Виділимо такі основні способи формування пари сканувальних растрів для вимірювання миттєвого значення швидкості руху мікрооб'єкта по мірі збільшення значення цієї швидкості:

- 1) повноформатний растр з мінімальним кроком сканування – повноформатний растр з мінімальним кроком сканування;

- 2) повноформатний растр з мінімальним кроком сканування – растр зменшених розмірів з мінімальним кроком сканування (зокрема мінірастр та мікрорастр);

- 3) повноформатний растр з мінімальним кроком сканування – повноформатний растр з мінімальним кроком сканування (обидва растри із зупиненням формування сканувального растра під час знаходження координат мікрооб'єкта);

4) повноформатний растр з мінімальним кроком сканування – растр зменшених розмірів з мінімальним кроком сканування (обидва растри із зупиненням формування сканувального растра під час знаходження координат мікрооб'єкта);

5) растр зменшених розмірів з мінімальним кроком сканування – растр зменшених розмірів з мінімальним кроком сканування (із зупинкою формування сканувального растра при знаходженні координат мікрооб'єкта);

6) повноформатний растр зі збільшеним кроком сканування – растр зменшених розмірів з мінімальним кроком сканування – растр зменшених розмірів з мінімальним кроком сканування (перший растр використовується лише для виявлення мікрооб'єкта, а два наступних – для вимірювання швидкості).

2. Математична модель кадрового режиму сканування

Математична модель кадрового режиму вимірювання швидкості руху мікрооб'єкта ґрунтується на рядковій моделі, приклади якої наведені у [7] та [8]. Кожен рядок у кадрі описується аналогічною рядковою моделлю сканування. Кількість рядків у кадрі дорівнює кількості положень сканувальної плями в одному рядку сканування, тобто растр є квадратним із розмірами $N \times N$ положень сканувальної плями. Модель кадрового режиму сканування для визначення швидкості руху мікрооб'єкта у разі розташування його у вузлах сканувальної решітки зображено на рис. 1.

На рисунку використано такі позначення: d_c – діаметр сканувальної плями (СП); d_o – діаметр мікрооб'єкта; V_{cx} , V_{cy} – швидкість руху сканувальної плями вздовж осей x та y відповідно; V_o – швидкість руху мікрооб'єкта; L_p – довжина рядка сканування; L – переміщення мікрооб'єкта; СП I,I; СП II,I... – фіксовані координатні положення сканувальної плями; Δ_c – крок сканування по осях x та y ; $(X1; Y1)$, $(X2; Y2)$ – координати мікрооб'єкта у першому та другому положенні відповідно.

На рис. 1 для спрощення розуміння аналізованої моделі мікрооб'єкт зображений у вузлі растра сканування, що відповідає повному перекриттю сканувальної плями і мікрооб'єкта та максимальному рівню сигналу фотоприймача відповідно. В іншому випадку, коли центр мікрооб'єкта не збігається точно із вузлом сканувального растра, необхідно враховувати зменшений рівень вихідного сигналу фотоелектронного перетворювача у разі виявлення мікрооб'єкта.

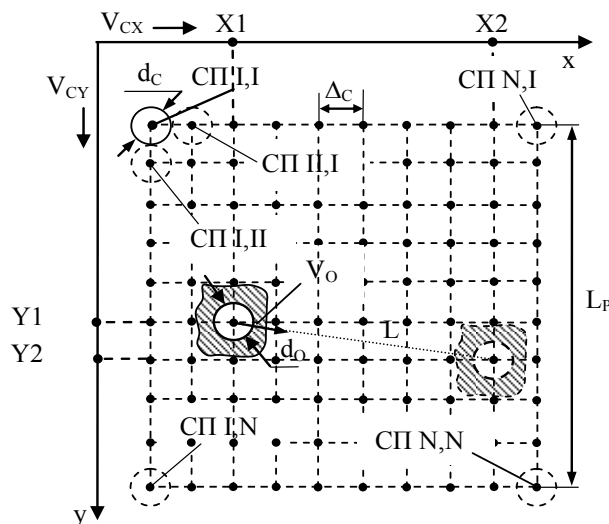


Рис. 1. Модель кадрового режиму сканування для визначення швидкості руху мікрооб'єкта при розташуванні його у вузлах сканувальної решітки

Під час аналізу вважаємо, що розподіли інтенсивності світіння сканувального елемента (плями) та прозорості мікрооб'єкта є рівномірними, а розміри сканувальної плями та мікрооб'єкта є співрозмірними (на рисунку вони зображені у вигляді кружків із діаметрами $d_c = d_o$). Це спрощує аналіз запропонованої моделі сканування і достатньою мірою відповідає деяким реальним досліджуваним мікрооб'єктам.

Сканувальна пляма рівномірно рухається вздовж рядка від його лівого краю до правого зі швидкістю V_{cx} . Формування окремих положень сканувальної плями під час її руху в рядку

забезпечується неперервним (аналоговим) або дискретним (цифровим) методом формування сканувального растра [9]. Під час зворотного ходу по рядку сканувальна пляма переміщається з N -го положення i -го рядка сканування в перше положення $(i+1)$ -го рядка сканування за час зворотного ходу по рядку t_{3X} . Відповідно під час зворотного ходу по кадру сканувальна пляма переміщається з N -го положення N -го рядка в перше положення першого рядка за час зворотного ходу по кадру t_{3Y} .

Тривалість зворотного ходу по рядку та кадру залежить від конструктивних параметрів використовуваної відхилювальної системи та електричних параметрів формувачів струму в котушках відхилення. Тривалості зворотних ходів по рядку та кадру порівняно з відповідними тривалостями прямих ходів є значно меншими, тому під час практичних розрахунків їх можна не враховувати.

Розглянемо рух мікрооб'єкта, який відбувається у межах поля сканування зі швидкістю V_O . Визначимо, якою повинна бути швидкість сканування V_C , щоб досліджуваний мікрооб'єкт знаходився в полі зору мікроскопа, тобто не виходив за межі поля сканування під час двох послідовних сканувань.

Швидкість руху променя вздовж рядка визначимо як

$$V_{CX} = L_P / (N \cdot t_E + t_{3X}) \approx L_P / N \cdot t_E, \quad (2)$$

де t_E – час виводу одного елемента сканувального растра, який складається з часу переміщення сканувальної плями в сусіднє положення та часу її фіксованого положення, коли здійснюється її підсвічування.

Швидкість руху променя вздовж кадру становитиме

$$V_{CY} = L_P / [(N \cdot t_E + t_{3X}) \cdot N + t_{3Y}] \approx L_P / N^2 \cdot t_E. \quad (3)$$

Очевидно, щоб досліджуваний мікрооб'єкт знаходився в полі зору мікроскопа, повинна виконуватись умова:

$$V_O \ll V_{CY} \approx L_P / N^2 \cdot t_E. \quad (4)$$

Вимірювання швидкості руху мікрооб'єкта ґрунтується на загальноприйнятій формулі визначення швидкості $V_O = L/T_B$, де L – шлях пройдений мікрооб'єктом протягом одного періоду вимірювання швидкості; T_B – час одного вимірювання. Детальніше методику визначення цих величин у системі вимірювання на базі телевізійного оптичного сканувального мікроскопа описано у [9]. Кожному підсвіченому положенню сканувальної плями у рядку відповідає код на вході цифро-аналогового перетворювача при дискретному формуванні сканувального растра чи номер імпульсу підсвічування у разі формування розгортки аналоговим способом, а, відтак, і біжучі значення координат X та Y досліджуваного мікрооб'єкта. У моменти появи сигналу від фотоприймача про виявлення мікрооб'єкта ці коди чи номери імпульсу підсвічування запам'ятовуються системою, що дає можливість визначити координати двох послідовних у часі положень мікрооб'єкта, різницю цих координат та визначити переміщення мікрооб'єкта L . Одночасно із цим, за допомогою лічильника, визначається відрізок часу T_B , протягом якого відбувається переміщення мікрооб'єкта.

Вимірювання швидкості руху мікрооб'єкта може також відбуватися за принципом підрахунку імпульсів підсвічення двома лічильниками протягом двох сусідніх кадрів сканування. Початок підрахунку відповідає знаходженню координат першого положення мікрооб'єкта, а кінець підрахунку – координат другого положення. Перший лічильник (рядковий) підраховує кількість імпульсів до моменту досягнення значення N . Далі відбувається обнулення показів цього лічильника і перемикання другого (кадрового) на один показ. Отже, перший лічильник підраховує зміщення мікрооб'єкта у рядку сканування, а другий – зміщення по рядках сканування у кадрі.

При тому немає необхідності у додаткових цифрових арифметичних пристроях. Вимірювана швидкість мікрооб'єкта визначається за формулою

$$V_O = \sqrt{\left(\frac{n}{N}\right)^2 \cdot V_{CX}^2 + \left(\frac{m}{N}\right)^2 \cdot V_{CY}^2}, \quad (5)$$

де n та m – відповідно покази рядкового лічильника та лічильника кількості рядків, що підраховані системою вимірювання у двох послідовних кадрах сканування. Формула (5) із врахуванням того, що $V_{CX} = V_{CY} \cdot N$ та (3) матиме вигляд:

$$V_O = V_{CY} \cdot \sqrt{n^2 + \left(\frac{m}{N}\right)^2} = \frac{L_P}{N^2 \cdot t_E} \cdot \sqrt{n^2 + \left(\frac{m}{N}\right)^2}. \quad (6)$$

Графічне зображення методики визначення кількості імпульсів підсвічення рядковим лічильником та лічильником кількості рядків сканування (кадровим) зображено на рис. 2 та 3. Наведені графіки стосуються випадку визначення швидкості руху мікрооб'єкта, який зображено на рис. 1.

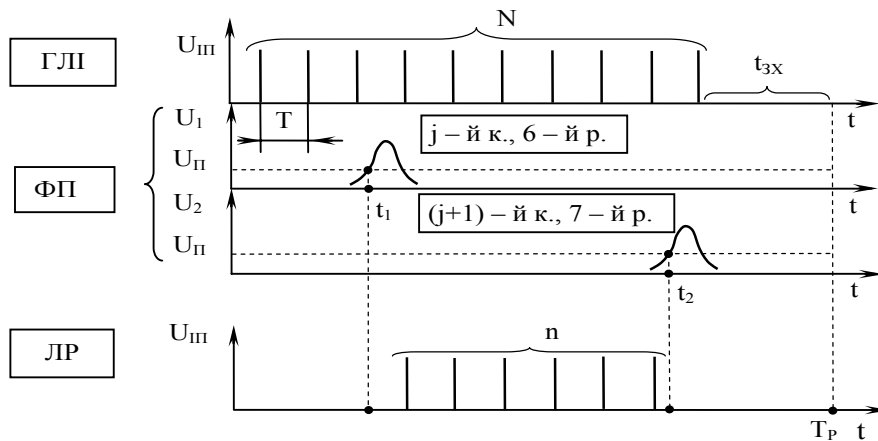


Рис. 2. Графічне зображення роботи рядкового лічильника часу

На рис. 2 та 3 використано такі позначення: ГЛІ – генератор лічильних імпульсів; ФП – фотоприймач; ЛР – рядковий лічильник; ЛРК – лічильник рядків у кадрі; U_{III} – сигнал на виході ГЛІ; U_1, U_2 – сигнали на виході ФП; $U_{п1}, U_{п2}$ – порогові значення напруги фотоприймача; T – період слідування імпульсів підсвітки, який дорівнює часу виводу одного елемента сканувального растра; T_p – тривалість одного рядка сканування; T_K – тривалість одного кадру сканування.

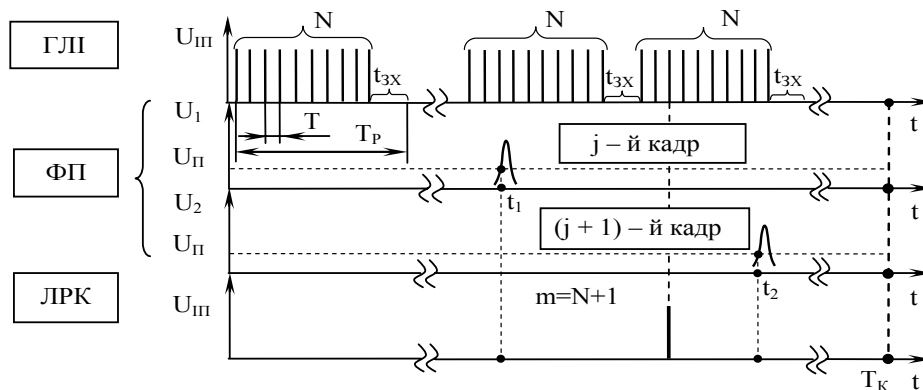


Рис. 3. Графічне зображення роботи кадрового лічильника часу

3. Алгоритми роботи мікроскопа

Для вимірювання швидкості руху різних мікрооб'єктів доцільно використовувати сканувальні растри різних розмірів (повноформатний, зменшений, мінірастр, мікрорастр). Розглянемо два варіанти алгоритмів вимірювання швидкості руху мікрооб'єкта із послідовним використанням повноформатного растра та наступних мінірастрів. Це дає можливість визначити координати центра першого положення мікрооб'єкта за допомогою повноформатного растра і розпочати визначення координат подальших його положень за допомогою мінірастра. При цьому центр кожного наступного мінірастра збігається із центром мікрооб'єкта при попередньому скануванні. Це дозволяє скоротити час вимірювань за рахунок зменшених розмірів растра і, тим самим, розширити діапазон вимірюваної швидкості зі збереженням заданої точності вимірювань.

Перший алгоритм роботи телевізійного оптичного сканувального мікроскопа у кадровому режимі вимірювання швидкості (рис. 4) полягає ось у чому:

1) Початок роботи програми – задання вхідних даних: а) кількості положень сканувальної плями по кожній координаті повноформатного растра N ; б) кількості положень сканувальної плями по кожній координаті мінірастра n ; в) рівня порогової напруги сигналу фотоприймача – $U_{п}$; г) кількості вимірювань координат мікрооб'єкта M ; д) мінімальних та максимальних значень координат повноформатного сканувального растра – $X_{min}, X_{max}, Y_{min}, Y_{max}$. У блок-схемі алгоритму використано такі позначення:

- i, j – код лічильника кількості вимірювань координат мікрооб'єкта та код лічильника номера кадру сканування відповідно;
- p, q – коди лічильника положень сканувальної плями у рядку сканування та кількості рядків сканування у кадрі повноформатного растра відповідно;
- k, m – коди лічильника положень сканувальної плями у рядку та кількості рядків сканування у кадрі мінірастра відповідно;
- X_p, Y_q – поточні значення координат сканувальної плями у повноформатному растрі (координати мікрооб'єкта визначені повноформатним сканувальним растром);
- X_{max}, X_{min} – максимальне та мінімальне значення координати x мінірастра;
- Y_{max}, Y_{min} – максимальне та мінімальне значення координати y мінірастра;
- X_k, Y_m – поточні значення координат сканувальної плями у мінірастрі (координати мікрооб'єкта визначені мінірастром);
- $X_{Ц}, Y_{Ц}$ – координати центра сканувального мінірастра;
- a_i, b_i – комірки пам'яті для збереження визначених координат мікрооб'єкта;
- L – віддаль, яку пройшов мікрооб'єкт протягом одного періоду вимірювання швидкості;
- T_B – час, що затрачається на один період вимірювання швидкості;
- t_E – час формування одного положення сканувальної плями в рядку сканування;
- $t_{дод}$ – додатковий час, що затрачається на зміну розмірів та переміщення сканувального мінірастра тощо;

• U_{BC} – поточне значення напруги вихідного сигналу фотоприймача.

2) Режим сканування повноформатним растром – задання початкових значень кодів лічильника кількості вимірювань координат мікрооб'єкта – $i = 0$, лічильника кількості рядків сканування у кадрі – $q = 1$ та лічильника положень сканувальної плями у рядку сканування – $p = 1$.

3) Здійснення процесу сканування шляхом послідовної зміни значень кодів лічильника положень сканувальної плями в рядку p , а відтак i лічильника рядків у кадрі q .

4) Визначення координат першого положення центра мікрооб'єкта – порівняння сигналу від кожного окремого положення сканувальної плями у площині сканування U_{BC} із пороговим рівнем $U_{П}$ та записування у відповідні комірки пам'яті поточних кодів координат у разі перевищення заданого порогового рівня, переведення лічильника кількості вимірювань координат мікрооб'єкта у положення $i = 1$ та продовження формування повноформатного сканувального растра.

5) Перехід до формування мінірастра у разі закінчення формування повноформатного растра – присвоєння координатам центра сканувального мінірастра координат мікрооб'єкта, що були попередньо визначені $X_{Ц} = X_p, Y_{Ц} = Y_q$. Визначення координат крайніх точок сканувального мінірастра $x_{min}, y_{min}, x_{max}, y_{max}$.

6) Перевірка умов знаходження мінірастра у межах поля сканувального растра – $x_{min} \geq X_{min}, x_{max} \leq X_{max}, y_{min} \geq Y_{min}, y_{max} \leq Y_{max}$. Під час виконання цих умов – здійснення процесу сканування мінірастром. У разі невиконання – перехід до п.10.

7) Визначення координат другого положення центра мікрооб'єкта – порівняння сигналу від кожного окремого положення сканувальної плями у площині сканування U_{BC} із пороговим рівнем $U_{П}$ та запис у відповідні комірки пам'яті поточних кодів координат у разі перевищення заданого порогового рівня сигналом, переведення лічильника кількості вимірювань координат мікрооб'єкта у положення $i = 2$ та перехід до обчислення швидкості руху мікрооб'єкта.

8) Обчислення значення швидкості руху мікрооб'єкта за умови наявності координат двох послідовних положень мікрооб'єкта, визначених сканувальним мікроскопом, за формулами

$$1. V_O = L / T_B ;$$

$$2. L = \sqrt{(X_k - X_p)^2 + (Y_m - Y_q)^2} ; \quad (7)$$

$$3. T_B = t_E \cdot \left[\left(\frac{(X_{max} - X_p)}{(X_{max} - X_{min})} \cdot N + \frac{(Y_{max} - Y_q)}{(Y_{max} - Y_{min})} \cdot N^2 \right) + \left(\frac{(X_k - x_{min})}{(x_{max} - x_{min})} \cdot n + \frac{(Y_m - y_{min})}{(y_{max} - y_{min})} \cdot n^2 \right) + t_{дод} \right].$$

9) Виведення значення швидкості мікрооб'єкта та продовження процесу сканування мінірастром.

10) Перехід до підпрограми зміщення сканувального мінірастра. При цьому відбувається перерахунок координат положень крайніх точок сканувального мінірастра за допомогою присвоєння їм тих граничних значень, умови стосовно яких не задовольняються. Формування сканувального мінірастра з врахуванням здійснених перетворень. Центри сканувального мінірастра та мікрооб'єкта при цьому не збігатимуться. Перехід до п.6.

11) Припинення процесу вимірювання та закінчення роботи програми – у разі виходу мікрооб'єкта на границю (границі) зони вимірювання ($X_p, X_k = X_{min}, X_{max}; Y_q, Y_m = Y_{min}, Y_{max}$), перевищення лічильником заданої кількості вимірювань $i > M$ чи відсутності мікрооб'єкта в межах зони сканування.

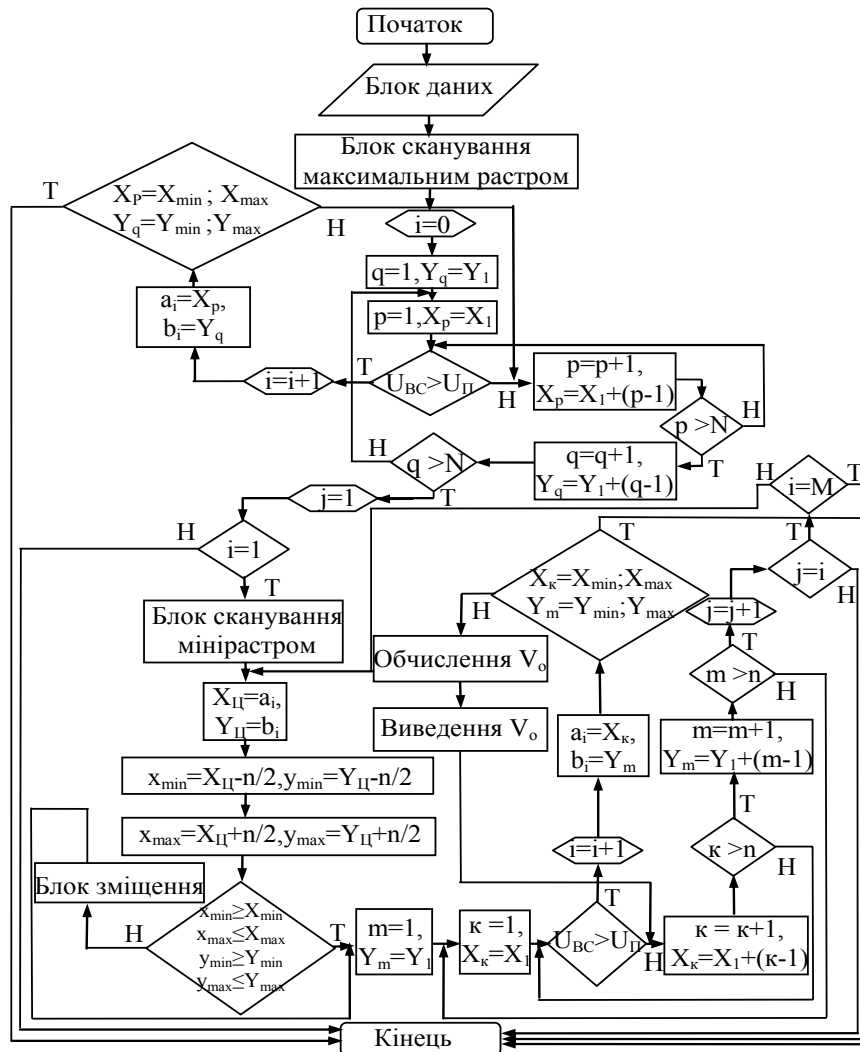


Рис. 4. Блок-схема алгоритму вимірювання швидкості руху мікрооб'єкта з повним формуванням сканувальних растрів

Другий алгоритм (див. рис. 5) відрізняється від першого тим, що формування сканувальних растрів припиняється під час визначення поточних координат мікрооб'єкта. Він полягає ось у чому:

1) Початок роботи програми – задання вхідних даних: а) кількості положень сканувальної плями по кожній координаті повноформатного растра N ; б) кількості положень сканувальної плями по кожній координаті мінірастра n ; в) рівня порогової напруги вихідного сигналу фотоприймача – $U_{П}$, г) кількості вимірювань координат мікрооб'єкта M ; д) мінімальних та максимальних значень координат повноформатного сканувального растра – $X_{min}, X_{max}, Y_{min}, Y_{max}$. Інші використані позначення є тими самими, що і в першому алгоритмі.

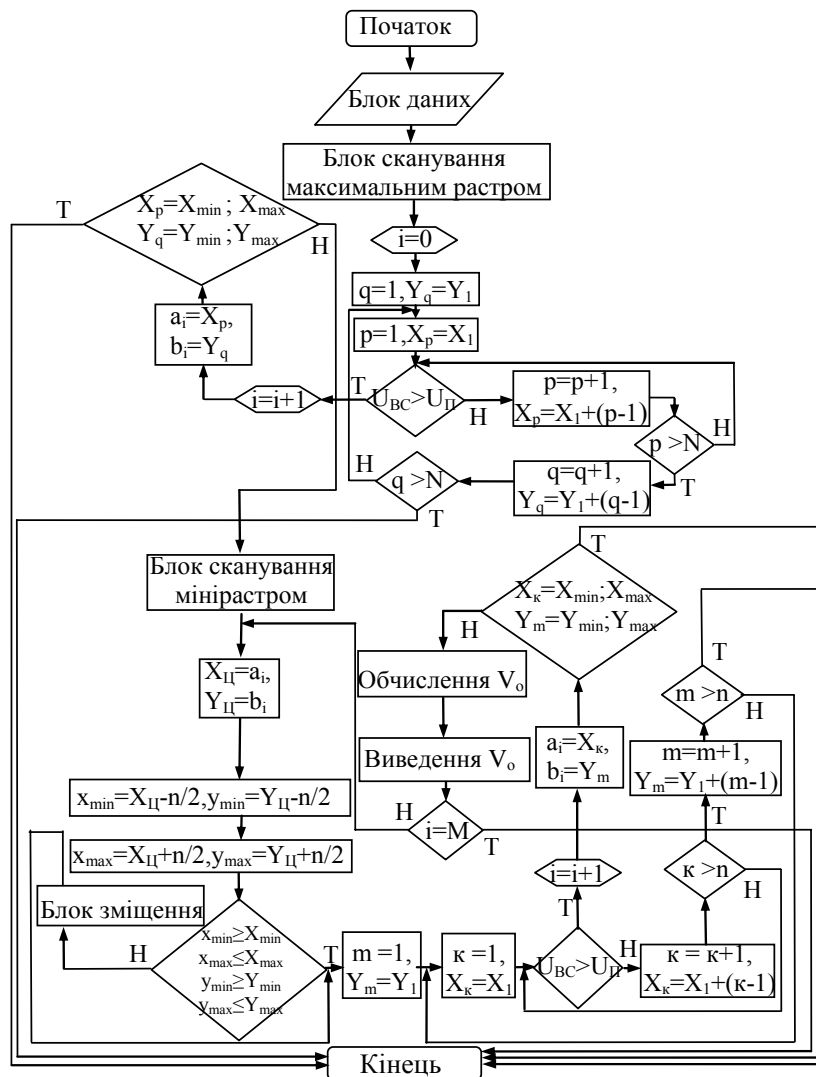


Рис. 5. Блок-схема алгоритму вимірювання швидкості руху мікрооб'єкта із зупиненням формування сканувальних растрів під час знаходження координат мікрооб'єкта

2) Режим сканування повноформатним растром – задання початкових значень кодів лічильника кількості вимірювань координат мікрооб'єкта – $i = 0$, лічильника кількості рядків сканування у кадрі – $q = 1$ та лічильника положень сканувальної плями у рядку сканування – $p = 1$.

3) Здійснення процесу сканування шляхом послідовної зміни значень кодів лічильника положень сканувальної плями в рядку p , а відтак і лічильника рядків у кадрі q .

4) Визначення координат першого положення мікрооб'єкта – порівняння сигналу від кожного окремого положення сканувальної плями у площині сканування U_{BC} із пороговим рівнем $U_{П}$ та записування у відповідні комірки пам'яті поточних координат у разі перевищення заданого порогового рівня сигналом, переведення лічильника кількості вимірювань координат мікрооб'єкта у положення $i = 1$ та перехід до режиму сканування мінірастром.

5) Перехід до формування мінірастра – присвоєння координатам центра сканувального мінірастра координат мікрооб'єкта, що були попередньо визначені $X_{Ц} = X_p$, $Y_{Ц} = Y_q$. Визначення координат крайніх точок сканувального мінірастра x_{min} , u_{min} , x_{max} , u_{max} .

6) Перевірка умов знаходження мінірастра у межах поля вимірювання – $x_{min} \geq X_{min}$, $x_{max} \leq X_{max}$, $u_{min} \geq Y_{min}$, $u_{max} \leq Y_{max}$. У разі виконання цих умов, здійснення процесу сканування мінірастром. У разі невиконання – перехід до п.10.

7) Визначення координат другого положення мікрооб'єкта – порівняння вихідного сигналу від кожного окремого положення сканувальної плями у площині сканування U_{BC} із пороговим

рівнем U_{Π} та записання у відповідні комірки пам'яті поточних координат у разі перевищення заданого порогового рівня сигналом, переведення лічильника координат мікрооб'єкта у положення $i = 2$ та перехід до обчислення швидкості руху мікрооб'єкта.

8) Обчислення значення швидкості руху мікрооб'єкта за умови наявності координат двох послідовних положень мікрооб'єкта, визначених системою вимірювання за формулами:

1. $V_O = L / T_B$;
2. $L = \sqrt{(X_k - X_p)^2 + (Y_m - Y_q)^2}$;
3. $T_B = t_E \cdot \left[\left(\frac{X_k - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \right) \cdot n + \left(\frac{Y_m - y_{\min}}{y_{\max} - y_{\min}} \right) \cdot n^2 \right] + t_{\text{дод.}}$.

(8)

9) Виведення значення швидкості мікрооб'єкта на екран монітора та перехід до формування наступного сканувального мінірастра у разі невиконання умови $i = M$.

10) Перехід до підпрограми зміщення сканувального мінірастра. При тому відбувається перерахунок координат положень крайніх точок сканувального растра присвоєнням їм тих граничних значень, умови стосовно яких не задовольняються. Центри сканувального мінірастра та мікрооб'єкта не збігатимуться. Перехід до п.6.

11) Припинення процесу вимірювання та закінчення роботи програми – у разі виходу мікрооб'єкта на границю (границі) зони вимірювання ($X_p, X_k = X_{\min}, X_{\max}; Y_q, Y_m = Y_{\min}, Y_{\max}$), перевищення лічильником заданої кількості вимірювань $i > M$ чи відсутності мікрооб'єкта в межах зони сканування.

Висновки. Проаналізовано особливості використання кадрового режиму вимірювання швидкості руху динамічного мікрооб'єкта у телевізійному оптичному сканувальному мікроскопі. На основі запропонованої математичної моделі розглядаються питання вимірювання значення швидкості руху мікрооб'єкта.

Запропоновано два алгоритми роботи мікроскопа, які дозволяють визначити швидкість руху мікрооб'єкта для різних діапазонів вимірюваної швидкості із однаковою точністю вимірювань. Перший алгоритм забезпечує вимірювання швидкості руху динамічного мікрооб'єкта за допомогою двох типів сканувальних растрів – повноформатного та мінірастра, що формуються повністю. Другий алгоритм дозволяє додатково скоротити час вимірювань, а відтак, розширити діапазон вимірюваної швидкості руху у бік збільшення за рахунок припинення формування повноформатного сканувального растра та мінірастрів після визначення поточних координат досліджуваного мікрооб'єкта.

1. Гришин М.П. и др. *Автоматический ввод и обработка фотографических изображений на ЭВМ.* – М.: Энергия, 1976. – 152 с. 2. Hrytskiv Z., Shkliarskyi V. *Expansion of the Range of Velocities Measurement for High-velocity Micro Objects in Television Scanning Optical Microscope // Proceedings of the International Conference TCSET.* – Lviv-Slavsko (Ukraine). – 2006. – P. 542–544. 3. Briquet-Laugier F., Boulin C., Olivo-Marin J.-C. *Analysis of Moving Biological Objects in Video Microscopy Sequences // Proceedings of SPIE.* – 1992. – v. 3642. – P.4–12. 4. Herman M. *Application of the PIPE Image Processing Machine to Scanning Microscopy // Proc. SPIE Scanning Microscopy Technologies and Applications.* -Los Angeles (CA). – 1988. – v. 897. – P.169–173. 5. Hrytskiv Z., Matiieshyn Y. *Algorithmic problem definition of dynamic objects analysis in Scanning Optical Microscopy // Proc. of 8-th Int. Conference of Experience of Designating and Application of CAD Systems in Microelectronics.* – Lviv – Poljana (Ukraine). – 2005. – P.439 – 440. 6. Matiieshyn Y. *Algorithm of the Moving Micro Object Trajectory Image Formation in Computer Television Scanning Microscopy // Proceedings of the II-nd International Conference ACSN.* – Lviv (Ukraine). – 2005. – P.97-98. 7. Грицьків З.Д., Матієшин Ю.М. *Визначення швидкості мікрооб'єкта телевізійним оптичним сканувальним мікроскопом в однорядковому режимі // "Eastern European Journal of Enterprise Technologies".* – Харків, 2006. – № 4/2 (22). – С. 27–32. 8. Матієшин Ю.М. *Визначення швидкості руху динамічного мікрооб'єкта у телевізійній сканувальній мікроскопії // Вісн. Нац. ун-ту "Львівська політехніка". Радіоелектроніка та телекомунікації.* – Львів, 2006. – №557. – С. 48–56. 9. Шклярський В.І., Матієшин Ю.М. *Визначення швидкості руху мікрооб'єкта телевізійним оптичним сканувальним мікроскопом у двотактному режимі вимірювання (подано до друку).*