

**В. І. Шклярський**, Ю. М. Матієшин, Ю. В. Баланюк, В. В. Мінзюк  
Національний університет “Львівська політехніка”

## АЛГОРИТМІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОБОТИ ТЕЛЕВІЗІЙНОГО СКАНУВАЛЬНОГО ОПТИЧНОГО МІКРОСКОПА ПІД ЧАС ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ МІКРООБ’ЄКТІВ

© Шклярський В. І., Матієшин Ю. М., Баланюк Ю. В., Мінзюк В. В., 2017

Висвітлено питання, які стосуються алгоритмічного забезпечення роботи телевізійного сканувального оптичного мікроскопа (ТСОМ) під час дослідження та визначення різних параметрів і характеристик одиничних та групових динамічних мікрооб’єктів (МО) різних розмірів та форм. Наведено блок-схеми відповідних алгоритмів роботи мікроскопа, які забезпечують універсальність та високу точність вимірювань.

**Ключові слова:** телевізійний сканувальний оптичний мікроскоп, алгоритм роботи, параметри мікрооб’єктів.

V. I. Shkliarskyi, Y. M. Matiieshyn, Y. V. Balanyuk, V. V. Minziuk  
Lviv Polytechnic National University

## ALGORITHMIC SOFTWARE OF A TELEVISION SCANNING OPTICAL MICROSCOPE WORK IN THE STUDY OF DYNAMIC MICROOBJECTS

© Shkliarskyi V. I., Matiieshyn Y. M., Balanyuk Y. V., Minziuk V. V., 2017

The questions concerning algorithmic software of the work of a television scanning optical microscope (TSOM) during research and determination of various parameters and characteristics of single and group dynamic microobjects (MO) having different sizes and shapes are highlighted. The block diagrams of the corresponding algorithms of the microscope operation are given, which provide the versatility and high accuracy of measurements.

The main features of a television scanning optical microscope compared to a television video microscope from the point of view of dynamics analysis relate to the methods of using computer complexes for fast data processing. Computer support can be used in such specific processes of the microscope as selecting the size and positioning of the scanning raster, adjusting the spatial resolution by reducing the number of rows of the image layout and the size of the scanning element (SE), setting the scanning speed and the intensity of the luminescence of the SE etc. This allows for a much quicker and easier to solve a number of tasks associated with dynamic MO, which are solved exclusively by software in video microscopy.

The tasks associated with dynamic MO are successfully solved in television video microscopy with computer support [1–4], which is, to some extent, a competitor to scanning microscopy in the fields of medicine, biology, mineralogy, metallographic, chemistry, criminology, art studies etc. Among such tasks: 1) analysis of mobility of MO; 2) methods of detecting and maintaining an MO in the field of view of a microscope; 3) image analysis to obtain data on the number, position, phase of motion, and the velocity of MO in microbiology and medicine etc. These tasks are mainly solved by the use of computer programs for digital imaging processing. Some publications [2] mention certain methods and algorithms for detecting and analyzing the motion of investigated MO.

The most commonly used software for USB-microscopes: MicroCapture Pro and VP EYE SOFTWARE (manufacturer – company Celestron); ToupView; ToupSee; AmCAP; AmScope; MicroCapture; MiniSee (manufacturer – known company for the production of digital cameras ScopeTek); ScopePhoto; GlobiScope; USBMicroscope; VirtualDub etc.

**Key words:** television scanning optical microscope, algorithm of work, parameters of microobjects.

## Вступ

Головні особливості телевізійних сканувальних оптичних мікроскопів порівняно із телевізійними камерними мікроскопами з погляду аналізу динаміки стосуються методів використання комп'ютерних комплексів для швидкого оброблення даних. Комп'ютерна підтримка може використовуватися у таких специфічних процесах функціонування мікроскопа, як вибір розмірів і позиціонування сканувального растра, регулювання просторової роздільної здатності зменшенням кількості рядків розкладу зображення та розміру сканувального елемента (СЕ), задання швидкості сканування та інтенсивності свічення СЕ тощо. Це дає можливість значно оперативніше і простіше виконувати деякі завдання, пов'язані із динамічними МО, які у камерній мікроскопії вирішуються лише програмними засобами.

## Огляд та аналіз публікацій

Завдання, пов'язані з динамічними МО, достатньо успішно розв'язуються у телевізійній камерній мікроскопії із комп'ютерною підтримкою [1–4], що є, певною мірою, конкурентом сканувальної мікроскопії у галузях медицини, біології, мінералогії, металографії, хімії, криміналістики, мистецтвознавства тощо. Серед таких завдань: 1) аналіз рухливості МО; 2) методи виявлення та утримання МО в полі зору мікроскопа; 3) аналіз зображень для отримання даних про кількість, положення, фазу руху та швидкість МО у мікробіології та медицині тощо. Ці завдання переважно виконують, застосовуючи комп'ютерні програми для цифрового оброблення зображень. У деяких публікаціях [2] згадуються певні методи і алгоритми виявлення та аналізу руху досліджуваних МО.

Найпоширеніше програмне забезпечення для USB-мікроскопів: MicroCapture Pro та VP EYE SOFTWARE (виробник – компанія Celestron); ToupView; ToupSee; AmCAP; AmScope; MicroCapture; MiniSee (виробник – відома компанія з виробництва цифрових камер ScopeTek); ScopePhoto; GlobiScope (рис. 1); USBMicroscope; VirtualDub тощо. Можливості всіх цих програмних продуктів обмежуються функціями захоплення фото та відео, а також перегляду зображення у реальному часі. Інколи у них є деякі додаткові вбудовані функції, пов'язані з редагуванням отриманих зображень та здійсненням певних вимірювань на них.



Рис. 1. Інтерфейс програми GlobiScope

Серед універсальнішого програмного забезпечення для інших типів цифрових мікроскопів (електронних, лазерних, оптичних, мікрохірургічних, вимірювальних, металографічних тощо) можна згадати групу програм під назвою BioAnalyze (Basic, Advanced тощо). Їхні можливості дещо вищі від попередніх: перегляд зображення в реальному часі на екрані комп'ютера; виконання вимірювань в отриманих зображеннях за допомогою масштабної лінійки (вимірювання розмірів, периметрів, площ, кутів, підрахунок об'єктів, фазовий аналіз); відображення вимірних значень з базовою статистикою (у вигляді таблиці Microsoft Excel або текстового файлу Microsoft Word); розширені функції редагування та оброблення зображень (яскравість, контраст, різкість, колірний баланс, баланс білого та чорного); автоматичне покадрове захоплення зображення і створення покадрового HD-відео (роздільна здатність 1920×1080); робота з декількома зображеннями одночасно (програма BioAnalyze Advanced); калібрування тощо (рис. 2).

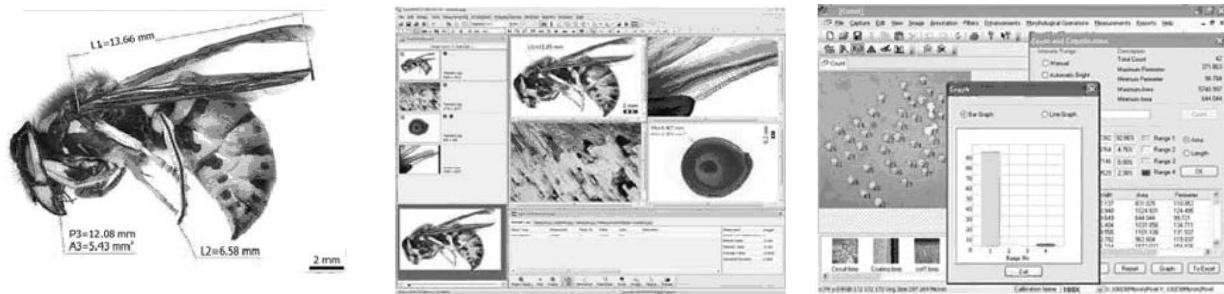


Рис. 2. Інтерфейс програми BioAnalyze

### Постановка задачі та її зв'язок з важливими науковими завданнями

В описі жодного зі згаданих вище програмних продуктів не згадується про можливість детального аналізу динамічних параметрів МО. У цій роботі поставлено та вирішуються завдання розроблення можливих методів та алгоритмів аналізу динаміки у ТСОМ, які забезпечують виявлення динамічного МО, його утримання в полі зору мікроскопа, визначення координат МО, побудову графічного зображення траєкторії його руху, а також отримання даних, що дають змогу обчислити швидкість та прискорення (за нерівномірного руху) досліджуваного МО.

### Алгоритм виявлення та утримання МО в полі зору ТСОМ

Блок-схему алгоритму виявлення з подальшим утриманням МО в полі зору мікроскопа з формуванням зображення МО у центральній зоні поля відображення екрана комп'ютерного чи телевізійного монітора подано на рис. 3 [5, 6]. Наведемо цей алгоритм:

1) введення початкових даних: порогового значення напруги фотоелектронного помножувача (ФЕП) –  $U_{ФЕП}$ ; початкового розміру сканувального растра –  $S$ ; початкового діаметра СЕ –  $d$ ; координат початку сканування –  $X_1, Y_1$ ; координат центра сканувального растра –  $X_{Ц}, Y_{Ц}$ ;  $\Delta X, \Delta Y$  – розмірів кроку сканування по горизонталі та по вертикалі відповідно; кодів лічильника кількості рядків –  $q=1$  та лічильника положень СЕ у рядку –  $p=1$ ;

2) перевірка наявності МО в межах поля зору мікроскопа скануванням міні-растром максимальної роздільної здатності (розміри міні-растра не перевищують 0,1 від розмірів повноформатного растра);

3) за відсутності МО – поступовий перехід від міні-растра до повноформатного растра з одночасним регулюванням просторової роздільної здатності покроковим збільшенням розмірів растра і СЕ (формування растрів зменшених розмірів – не більше ніж 0,5 від розмірів повноформатного растра); Кожен наступний растр має розміри сторін, удвічі більші за попередні, та формується у полі зору ТСОМ відповідно до рис. 4;

4) у разі виявлення МО – перехід у режим утримання зображення МО в центрі екрана монітора з одночасним переходом до міні-растра максимальної роздільної здатності й визначенням поточних координат положення МО;

5) суміщення центра міні-растра із центром МО;

6) забезпечення режиму автоматичного стеження за МО у разі зміни його положення;

7) закінчення роботи програми – за відсутності МО у межах поля зору мікроскопа.

На рисунках та в описі алгоритму використано такі позначення:  $U_{ФЕП}$  – напруга на виході ФЕП;  $U_{ПОР}$  – порогове значення напруги ФЕП;  $S$  – розмір сканувального растра;  $N, n$  – розмір повноформатного растра та міні-растра відповідно;  $d$  – діаметр СЕ;  $d_N, d_n$  – діаметр СЕ у повноформатному растрі та міні-растрі відповідно;  $X_1, Y_1$  – координати точки початку сканування;  $X_{Ц}, Y_{Ц}$  – координати центра сканувального растра;  $\delta X_{Ц}, \delta Y_{Ц}$  – зміщення центра сканувального растра;  $X_O, Y_O$  – координати центра МО;  $\delta X_O, \delta Y_O$  – зміщення центра МО;  $\Delta X, \Delta Y$  – розмір кроку сканування по горизонталі та по вертикалі відповідно;  $X_{MIN}, X_{MAX}, Y_{MIN}, Y_{MAX}$  – граничні значення координат повноформатного сканувального растра;  $p, q$  – коди лічильника положень СЕ у

рядку сканування та кількості рядків сканування у растрі відповідно;  $P, Q$  – кінцевий відлік по горизонталі та по вертикалі відповідно;  $x_p, y_q$  – поточні координати сканування;  $x_1, x_p$  – початкова та кінцева координати по осі  $x$  відповідно;  $y_1, y_q$  – початкова та кінцева координати по осі  $y$  відповідно;  $a_i, b_i$  – комірки пам'яті для збереження визначених координат МО.

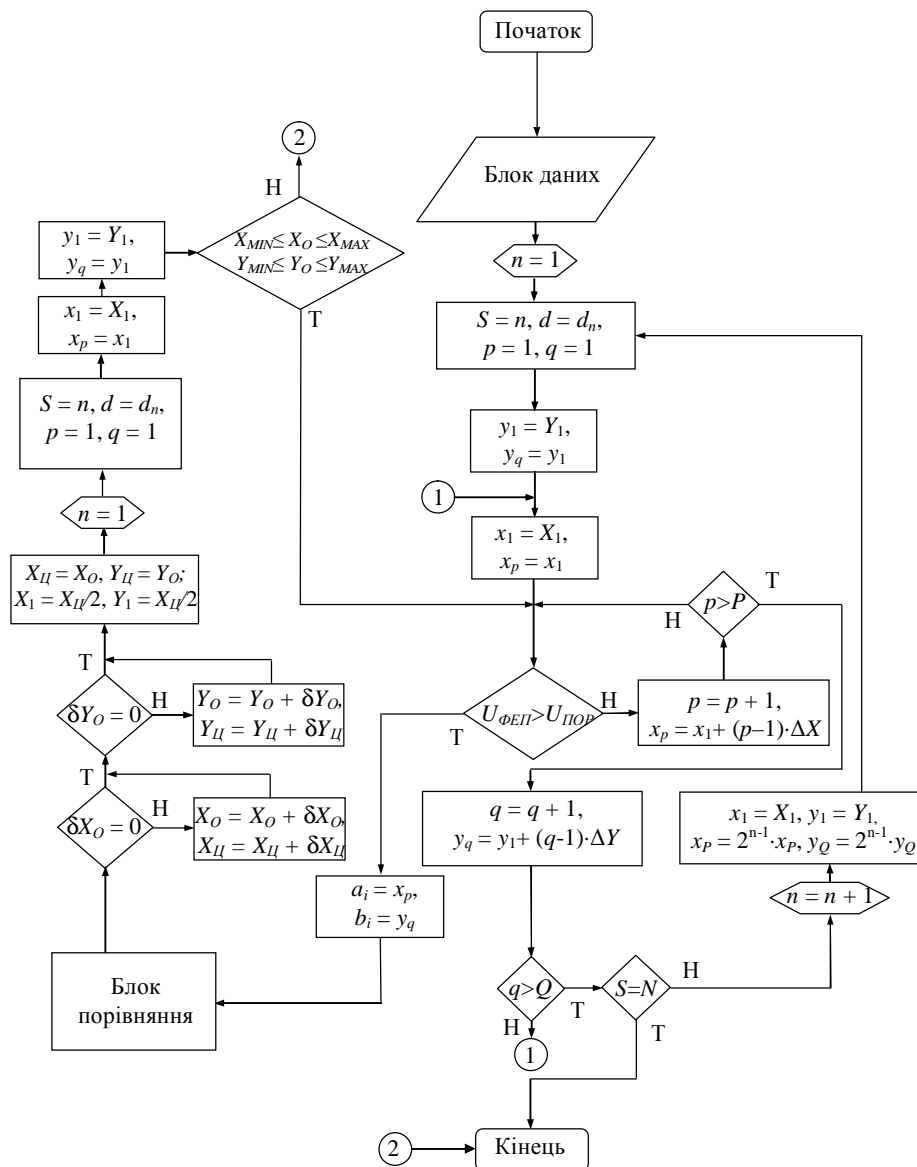


Рис. 3. Блок-схема алгоритму виявлення та утримання МО в полі зору TCOM

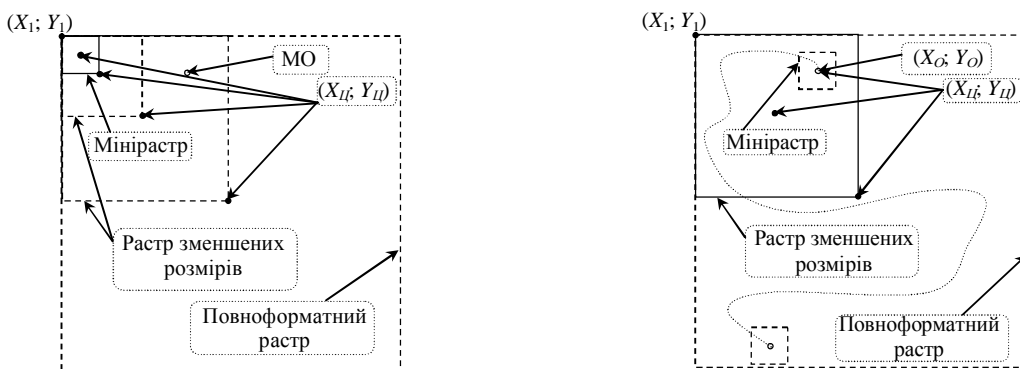


Рис. 4. Результати роботи алгоритму виявлення та утримання МО в полі зору TCOM

### Алгоритм визначення основних параметрів руху динамічних МО кадровим методом

Кадровий метод дає змогу визначити швидкість та прискорення МО, що рухаються нерівномірно та з випадковою траєкторією руху [7]. Приклад блок-схеми алгоритму роботи ТСОМ у цьому випадку наведено на рис. 5. Цей алгоритм передбачає:

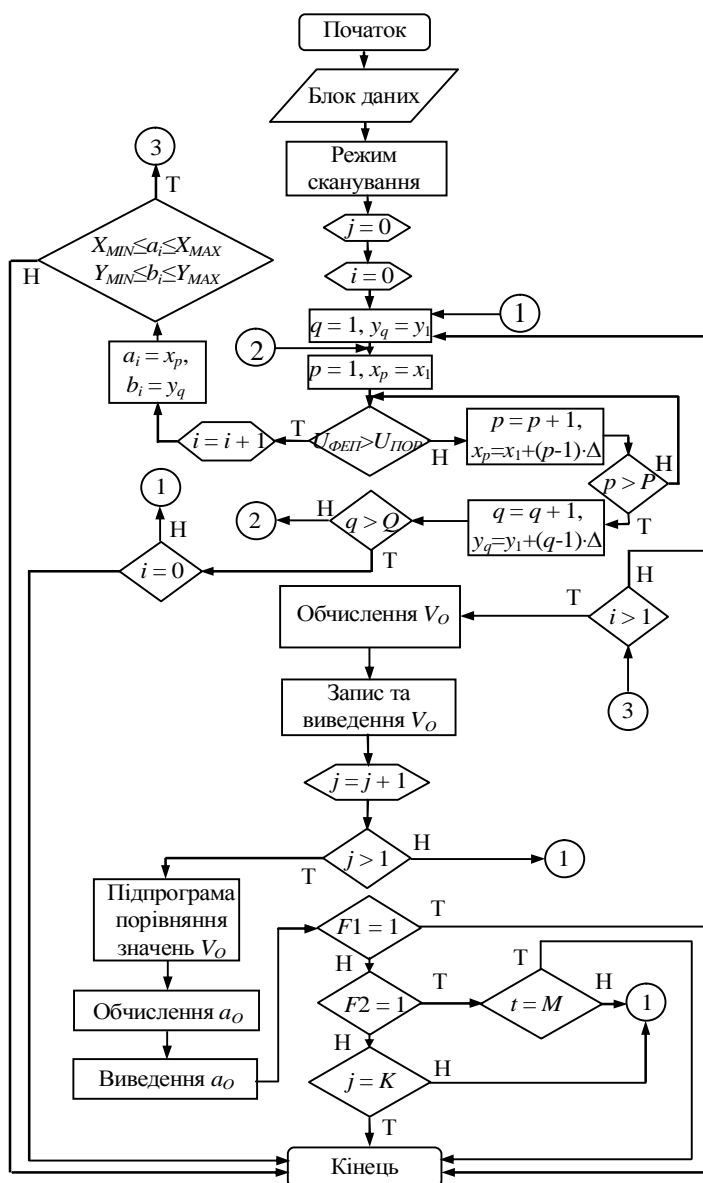


Рис. 5. Блок-схема алгоритму визначення швидкості та прискорення руху МО кадровим методом

- 1) введення координат початку та центра сканувального растра –  $X_1, Y_1$  та  $X_{Ц}, Y_{Ц}$  ;
- 2) введення граничних координат повноформатного сканувального растра –  $X_{MIN}, X_{MAX}, Y_{MIN}, Y_{MAX}$  ;
- 3) введення необхідної кількості вимірювань швидкості руху МО –  $K$  та/чи значення загальної тривалості вимірювань –  $M$ , а також тривалості кадру сканування –  $T_K$  ;
- 4) введення початкових значень кодів лічильника кількості вимірів координат МО –  $i = 0$ , лічильника кількості вимірювань швидкості руху МО –  $j = 0$ , лічильника кількості рядків –  $q = 1$  та лічильника положень СЕ у рядку –  $p = 1$  ;
- 5) вибір режиму сканування (підпрограми “СТОП”, “Таймер” та “Звичайний”) за допомогою натискання відповідних клавіш;

6) підпрограма “СТОП” – зупинка виведення даних на екран монітора після визначення першого значення прискорення МО, перехід до закінчення роботи програми і введення нових початкових даних;

7) підпрограма “ТАЙМЕР” – зупинка виведення даних на екран монітора після перевищення заданого значення загальної тривалості вимірювань  $M$ , перехід до закінчення роботи програми і введення нових початкових даних;

8) підпрограма “ЗВИЧАЙНИЙ” – зупинка виведення даних на екран монітора після перевищення заданої кількості вимірювань швидкості руху МО  $K$ ;

9) здійснення процесу сканування послідовною зміною значень кодів лічильника положень СЕ у рядку  $p$ , а відтак і лічильника рядків у кадрі  $q$ ;

10) визначення координат першого положення МО та запис у відповідні комірки пам’яті  $a_i$  та  $b_i$  поточних кодів координат СЕ  $x_p$  та  $y_q$ , переведення лічильника кількості вимірювань координат МО у положення  $i = 1$ ;

11) перевірка граничних умов знаходження МО у межах сканувального растра:  $x_p \geq X_{MIN}$ ,  $x_p \leq X_{MAX}$ ,  $y_q \geq Y_{MIN}$ ,  $y_q \leq Y_{MAX}$ . У разі виконання цих умов – завершення формування повноформатного сканувального растра із максимальною роздільною здатністю та перехід до формування наступного кадру сканування. У разі невиконання – завершення роботи програми вимірювання;

12) визначення координат другого положення МО та запис у відповідні комірки пам’яті  $a_i$  та  $b_i$  поточних кодів координат СЕ  $x_p$  та  $y_q$ , переведення лічильника кількості вимірювань координат МО у положення  $i = 2$ , перевірка граничних умов знаходження МО у межах сканувального растра:  $x_p \geq X_{MIN}$ ,  $x_p \leq X_{MAX}$ ,  $y_q \geq Y_{MIN}$ ,  $y_q \leq Y_{MAX}$ . У разі виконання цих умов – завершення формування повноформатного сканувального растра із максимальною роздільною здатністю та перехід до обчислення швидкості руху МО  $V_O$ ;

13) обчислення значення швидкості руху МО  $V_O$  за умови наявності координат двох послідовних у часі положень МО, визначених ТСОМ;

14) запис та виведення на екран монітора значення швидкості руху МО  $V_O$ , переведення лічильника кількості вимірювань значення швидкості руху МО у положення  $j = 1$  та продовження сканування;

15) перехід до обчислення значення прискорення руху досліджуваного МО  $a_O$  за умови наявності двох значень швидкості руху МО  $V_O$ ; припинення процесу вимірювання та закінчення роботи програми – у разі виконання хоча б однієї з умов:  $x_p < X_{MIN}$ ,  $x_p > X_{MAX}$ ,  $y_q < Y_{MIN}$ ,  $y_q > Y_{MAX}$ ; перевищення лічильником заданої кількості вимірювань швидкості руху МО  $j > K$ ; перевищення заданого значення загальної тривалості вимірювань  $M$ ; відсутність МО в межах зони сканування.

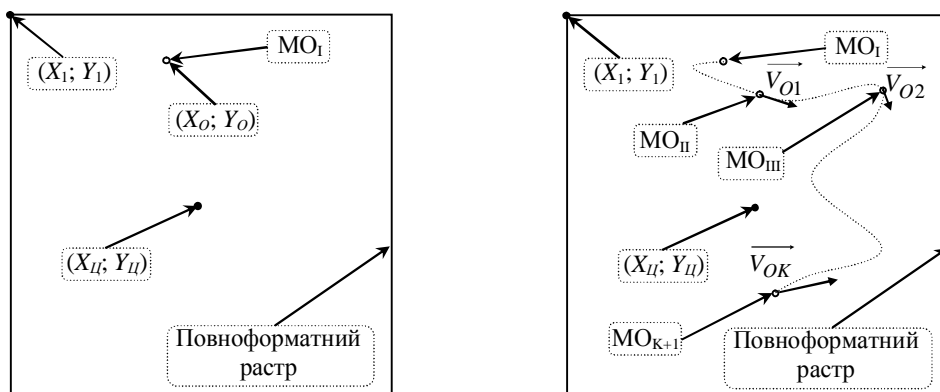


Рис. 6. Результати роботи алгоритму визначення швидкості та прискорення руху МО кадровими методами

На рисунках та в описі алгоритму, крім уже згаданих вище, використано такі позначення:  $K$  – задане значення кількості вимірювань швидкості руху МО;  $t$  – загальна тривалість вимірювань, кратна до тривалості кадру сканування –  $t = kT_K$ ,  $k = 1, 2, 3 \dots$ ;  $M$  – задане значення загальної тривалості вимірювань;  $i, j$  – код лічильника кількості вимірювань координат МО (кадрів сканування) та код лічильника кількості вимірювань значення швидкості руху МО відповідно;  $D$  – розмір кроку сканування по горизонталі та по вертикалі.

### Висновки

Розглянуто особливості алгоритмічного забезпечення роботи телевізійного сканувального оптичного мікроскопа для визначення параметрів та дослідження характеристик різних типів одиничних та групових динамічних мікрооб'єктів. Наведено алгоритми роботи мікроскопа в режимах: виявлення динамічного мікрооб'єкта та його утримання в полі зору мікроскопа; визначення координат мікрооб'єкта, побудови графічного зображення траєкторії його руху, а також отримання даних, що дають змогу обчислити швидкість та прискорення (за нерівномірного руху) досліджуваного мікрооб'єкта. Ці алгоритми доволі прості та універсальні.

1. Briquet-Laugier F. Analysis of Moving Biological Objects in Video Microscopy Sequences / F. Briquet-Laugier, C. Boulin, J.-C. Olivo-Marin // Proc. of SPIE. – 1992. – V. 3642. – P. 4–12. 2. Herman M. Application of the PIPE Image Processing Machine to Scanning Microscopy / M. Herman // Proc. of SPIE Scanning Microscopy Technologies and Applications. – 1988. – V. 897. – P. 169–173. 3. Режим доступу: [Http://www.qualitydigest.com](http://www.qualitydigest.com). 4. Image marker, measurement and enhancement systems: [Boeckeler video microscope catalog]. – [Boeckeler Instruments Inc., 1998]. – № 2. – P. 1–6. – Режим доступу: e-mail: [info@boeckeler.com](mailto:info@boeckeler.com). 5. Matiieshyn Y. M. Algorithmic problem definition of dynamic objects analysis in Scanning Optical Microscopy / Y. M. Matiieshyn, Z. D. Hrytskiv // Experience of Designating and Application of CAD Systems in Microelectronics CADSM'2005: Int. Conf., 23–26 February 2005: Proceedings. – Lviv–Poljana (Ukraine), 2005. – P. 439–440. 6. Матієшин Ю. М. Визначення швидкості руху динамічного мікрооб'єкта у телевізійній сканувальній мікроскопії / Ю. М. Матієшин // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка” “Радіоелектроніка та телекомунікації”. – 2006. – № 557. – С. 48–56. 7. Матієшин Ю. Вимірювання швидкості руху мікрооб'єкта телевізійним оптичним сканувальним мікроскопом у кадровому режимі роботи / Юрій Матієшин, Володимир Шклярський // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка” “Комп'ютерні системи та мережі”. – 2007. – № 603. – С. 128–136.

### References

1. Briquet-Laugier F. Analysis of Moving Biological Objects in Video Microscopy Sequences / F. Briquet-Laugier, C. Boulin, J.-C. Olivo-Marin // Proc. of SPIE. – 1992. – V. 3642. – P. 4–12. 2. Herman M. Application of the PIPE Image Processing Machine to Scanning Microscopy / M. Herman // Proc. of SPIE Scanning Microscopy Technologies and Applications. – 1988. – V. 897. – P. 169–173. 3. Access mode: [Http://www.qualitydigest.com](http://www.qualitydigest.com). 4. Image marker, measurement and enhancement systems: [Boeckeler video microscope catalog]. – [Boeckeler Instruments Inc., 1998]. – № 2. – P. 1–6. – Access mode: e-mail - [info@boeckeler.com](mailto:info@boeckeler.com). 5. Matiieshyn Y. M. Algorithmic problem definition of dynamic objects analysis in Scanning Optical Microscopy / Y. M. Matiieshyn, Z. D. Hrytskiv // Experience of Designating and Application of CAD Systems in Microelectronics CADSM'2005: Int. Conf., 23–26 February 2005: Proceedings. – Lviv – Poljana (Ukraine), 2005. – P. 439–440. 6. Matiieshyn Y. M. Determination of the velocity of motion of a dynamic microobject in television scanning microscopy / Y. M. Matiieshyn // Bulletin of Lviv Polytechnic National University – Radioelectronics and Telecommunications. – 2006. – No. 557. – P. 48–56. 7. Matiieshyn Y. Measurement of microobject velocity by a television optical scanning microscope in the frame work mode / Yurii Matiieshyn, Volodymyr Shkliarskyi // Bulletin of Lviv Polytechnic National University – Computer systems and networks. – 2007. – No. 603. – P. 128–136.