

РАДИОЕЛЕКТРОННІ ПРИСТРОЇ, СИСТЕМИ ТА НВЧ ТЕХНІКА

УДК 621.397+681.723

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

ВІДОБРАЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ДИНАМІЧНИХ МІКРООБ’ЄКТІВ ТЕЛЕВІЗІЙНИМ СКАНУВАЛЬНИМ ОПТИЧНИМ МІКРОСКОПОМ

© Шклярський В. І., Матієшин Ю. М., 2015

Розглянуто питання відображення результатів вимірювання параметрів динамічних мікрооб’єктів за допомогою телевізійного сканувального оптичного мікроскопа. При цьому мікрооб’єкти можуть бути як одиничними, так і перебувати у групі з декількох окремих динамічних мікрооб’єктів. Наведено принципи та алгоритм роботи мікроскопа, що забезпечують відображення результатів вимірювання параметрів як окремих динамічних мікрооб’єктів, так і усієї групи.

Ключові слова: телевізійна сканувальна оптична мікроскопія, відображення результатів вимірювання параметрів динамічного мікрооб’єкта, група динамічних мікрооб’єктів.

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

DYNAMIC MICROOBJECTS PARAMETERS MEASUREMENT RESULTS DISPLAY WITH THE TELEVISION SCANNING OPTICAL MICROSCOPE

© Shkliarskyi V. I., Matiieshyn Y. M., 2015

Television scanning optical microscope (TSOM) combined with computer support allows control of its modes in general, individual nodes, image processing and transmission capabilities, storage and playback of the data in the right form for the operator (graphs, tables, diagrams, etc.).

An example of the effective use of computer technology symbiosis and measuring systems are complex CASA (Computer-aided sperm analysis). Graphic display of measurement results methods are widely used in cytophotometry to analyze the distribution of absorbing substances in the cells processes. These ways of quantitative assessment of cytological microobjects structure (MO) are based on microphotometry: histogram and topograms, calculating of the surface relief indicator and texture coefficient and so on. It is possible to represent MO in digital or gray-scale fields, as well as pseudorelief.

Solving problems related to the display of the velocity vector in the form that is most visible to the operator and can give him the maximum amount of information about the behavior of MO, as well as to simplify and speed up its work, is very important. This article contains analysis ways of display the results of measurement parameters in TSOM as single dynamic MO and dynamic individual MO which are in a group of several MO moving chaotically – with variable velocity and direction of motion. The basic principles of TSOM in

determining the dynamic parameters of individual MO and averaged parameters of several MO as a whole.

A vector representation of measured values used in vector-cardiography, which originated in the development of electrocardiography. Presenting measure as vektorogram enables display bias in the direction of MO. The pronounced tendency of MO movement within a certain angular sector at a certain velocity rate may indicate different defects of physiological character in the structure of the MO. Examples are the different forms of violation of human sperm structure, which affect the nature of their movement velocity and the consequent loss of the ability to fertilize.

MO real movement usually occurs in 3-D space. In this case, three-dimensional model is built as vektorogram. It gives researchers the complete information on the movement of MO, providing at the same time to assess the actual relationships between different components of the movement.

Under the group of dynamic MO will realize several separate dynamic MO, which are within sight of TSOM have chaotic (random) motion with variable velocity and direction of movement. Often in modern medicine, microbiology, ecology and many others there is a need to analyze the dynamic parameters not only individual MO, but averaged dynamic parameters of the group as a whole. To do this successfully, you can use all the above listed ways reflect the results of measuring the dynamics of MO.

Key words: television scanning optical microscopy, dynamic microobject parameters measurement results display, group of dynamic microobjects.

Вступ

Телевізійний сканувальний оптичний мікроскоп (ТСОМ) у поєднанні із засобами комп'ютерної підтримки дає змогу керувати своїми режимами роботи загалом, окремими вузлами, обробкою зображень та можливостями передавання, збереження і відтворення отриманих даних у потрібному для оператора вигляді (графіки, таблиці, діаграми тощо) [1].

Огляд та аналіз літератури. Прикладом ефективного використання симбіозу комп'ютерних технологій та вимірювальних систем є комплекс CASA (Computer-aided sperm analysis) [2]. Графічні методи відображення результатів вимірювання широко використовуються у цитофотометрії для аналізу процесів розподілу поглинальної речовини у клітинах [3, 4]. Описані способи кількісної оцінки структури цитологічних мікрооб'єктів (МО) на основі даних мікрофотометрії: побудова гістограм та топограм, обчислення показника рельєфності та текстурного коефіцієнта тощо. Можливо подати МО у вигляді цифрового чи напівтонового полів, а також у вигляді псевдорельєфу [3, 4].

Постановка задачі та її зв'язок з важливими науковими завданнями. Вирішення завдань, пов'язаних із відображенням параметрів динамічних МО у вигляді, що є найнаочнішим для оператора і може дати йому максимальну кількість інформації про поведінку МО, а також максимально спростити та пришвидшити його роботу, є дуже важливим. У цій роботі розглянуто способи відображення у ТСОМ результатів вимірювання параметрів як одиничних динамічних МО, так і окремих динамічних МО, які перебувають у групі з декількох МО, що рухаються хаотично – зі змінними швидкістю та напрямом руху. Наведено основні принципи роботи ТСОМ під час визначення динамічних параметрів як окремих МО, так і усереднених параметрів декількох МО групи загалом.

Відображення результатів вимірювання параметрів окремого динамічного МО

Векторограма. Розглянемо можливі варіанти представлення вектора швидкості МО \vec{V}_o . Векторне представлення вимірюваних величин використовується у вектор-кардіографії, що виникла в процесі розвитку електрокардіографії [5]. Будують векторограму, що має вигляд, наведений на

рис. 1, а. Таке подання можна використовувати для відображення зміни величини та напрямку вектора швидкості МО \vec{V}_o .

Представлення результатів вимірювання у вигляді векторограми дає можливість відобразити тенденційність у напрямі руху МО. Яскраво виражена тенденція руху МО в межах певного кутового сектора з певною швидкістю може свідчити про різні вади фізіологічного характеру в будові цього МО. Прикладом можуть бути різні форми порушення будови сперматозоїдів людини [6], що впливають на характер їх руху та швидкість і, як наслідок, втрату здатності до запліднення. У ролі координатної системи побудови векторограми використовується полярна система (див. рис. 1, а), де сумарна величина вектора швидкості відобразатиметься радіус-вектором r відповідної довжини, а напрям вектора швидкості – полярним кутом j між горизонтальною прямою (полярною віссю) і відповідним радіус-вектором. Полярний кут вважається додатним у разі відрахунку від полярної осі проти руху годинникової стрілки і від’ємним у разі відрахунку за рухом стрілки.

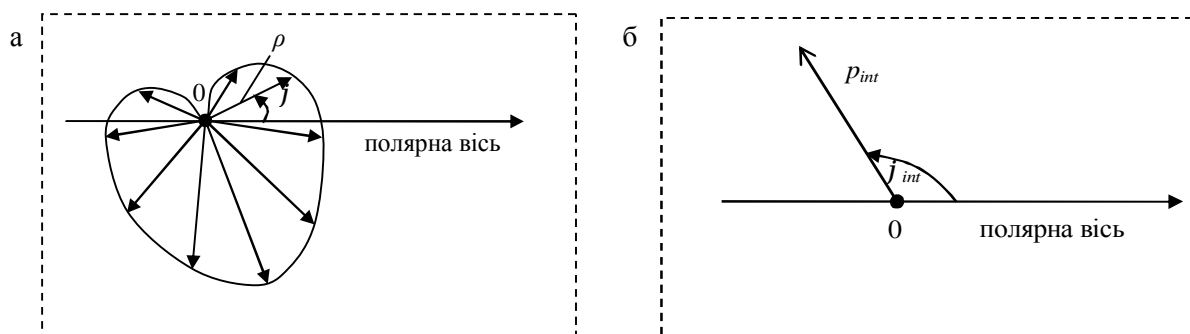


Рис. 1. Векторограма та інтегральний вектор швидкості руху МО

Оскільки система сканування ТСОМ працює в декартовій системі координат із заданням поточних координат (X_i, Y_i) сканувального елемента (СЕ), то для побудови векторограми використовуємо формули переходу від декартової до полярної системи координат [7, 8]:

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}; \operatorname{tg} j = \frac{y}{x}, x \neq 0, \quad (1)$$

де x, y – координати в декартовій системі координат.

Рух реального МО, як правило, відбувається у 3-D просторі. В такому випадку може бути побудована тривимірна модель векторограми [9]. Вона дає дослідникові повнішу інформацію про рух МО, надаючи одночасно можливість оцінки дійсних співвідношень між різними складовими руху.

Інтегральний вектор швидкості руху МО являє собою видозміну векторограми швидкості для N положень МО у вигляді одного (усередненого) вектора. Довжина вектора r_{int} відповідає середньому значенню швидкості МО, що відповідає N положенням, а кут j_{int} – усередненому значенню напрямку руху МО (рис. 1, б). Інтегральний вектор швидкості дає інформацію про середню швидкість МО, а також про переважний напрям його руху. Для його побудови використовуються формули:

$$P_{int} = V_{oc} = \sum_{i=1}^N V_{oi} / N; j_{int} = a_c = \sum_{i=1}^N a_i / N \quad (2)$$

Часові графіки. Цей спосіб полягає у відображенні значень швидкості та напрямку руху МО у вигляді часових графіків, що можна реалізувати у поточному режимі (рис. 2, а, б).

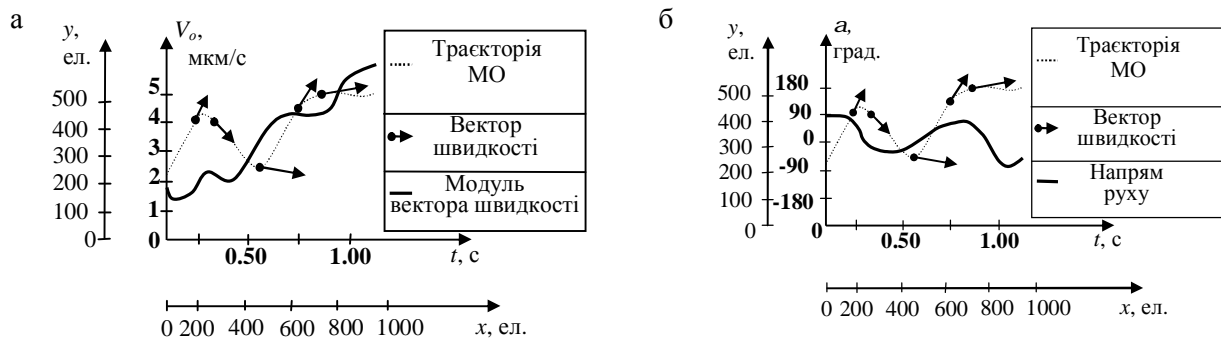


Рис. 2. Часові графіки модуля та напрямку вектора швидкості \vec{V}_0

Підрахунок значень вектора швидкості відбувається у міру надходження даних про координати руху та часові відліки. На цих рисунках: x та y – координати МО; V_0 та a – значення модуля та напрямку вектора швидкості МО відповідно; t – час проведення вимірювань. У випадку різкої зміни величини та напрямку швидкості руху МО дослідник має можливість робити висновки про наявність перешкод та впливів, що виникають на шляху руху МО.

Дані у вигляді **статистики вектора швидкості** подаються у формі таблиці (рис. 3). Таблиця складається з чотирьох стовпців. У першому містяться значення кутових секторів можливого руху МО Da_i , а у другому – кількість точок-положень МО n_i , напрям вектора швидкості в яких відповідає заданому кутовому сектору. У третьому стовпці містяться значення швидкості, поділені на діапазони ΔV_i . Четвертий стовпець $n\zeta$ – це кількість точок-положень МО, в яких значення швидкості за модулем належить відповідному діапазону значень ΔV . Статистика вектора швидкості може бути корисною для проведення підрахунків та визначення додаткових параметрів.

Статистика \vec{V}_0			
Da	n	DV	$n\zeta$
Da_1	n_1	DV_1	$n_1\zeta$
Da_2	n_2	DV_2	$n_2\zeta$
Da_3	n_3	DV_3	$n_3\zeta$
Da_4	n_4	DV_4	$n_4\zeta$

Рис. 3. Статистика вектора швидкості \vec{V}_0

Псевдоколірне подання значення миттєвої швидкості на зображенні траєкторії руху МО – розфарбовування траєкторії руху МО відповідним кольором чи відтінком сірого, залежно від поточного значення швидкості його руху V_0 . Кожному кольору відповідає певний діапазон швидкості. Наприклад, синім кольором відображається діапазон найменших значень швидкості, а червоним – діапазон найбільших значень. На рис. 4, а різні кольори додатково подані різними типами ліній. Подібний спосіб можна використовувати, відтворюючи траєкторію на чорно-білому або ж монохромному дисплеї.

Подання значення швидкості на зображенні траєкторії руху МО часовими мітками. Цей варіант реалізується використання постійного часового періоду встановлення міток на траєкторію руху МО. За умови різної швидкості руху МО відстань між мітками на траєкторії буде різною, що також дає можливість унаочнити відображення процесу зміни швидкості МО (рис. 4, б).

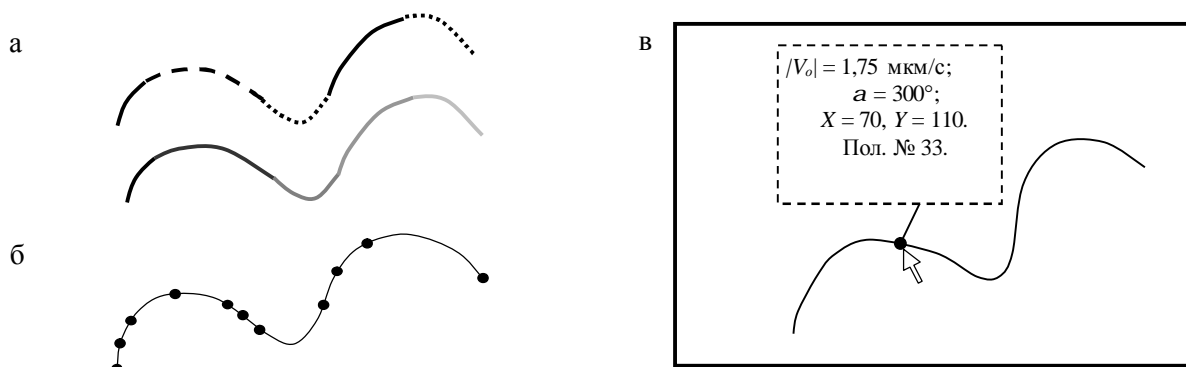


Рис. 4. Представлення миттєвої швидкості V_o : а – різнотиповими ділянками траєкторії руху МО; б – часовими мітками на траєкторії руху МО; в – у режимі текстового вікна

Подання значення миттєвої швидкості МО в режимі текстового вікна. У цьому режимі відбувається відображення значень модуля та напрямку вектора миттєвої швидкості МО \vec{V}_o у текстовому вікні. Маркер мишки комп'ютера наводиться на потрібну точку траєкторії руху МО, у відповідь на натискання клавіші мишки на екрані монітора з'являється поруч з вибраною точкою вікно з даними (рис. 4, в).

Секторні діаграми відображають у відсотковому співвідношенні кількість значень швидкості та напрямку руху МО у відповідному діапазоні. Для кожного швидкісного діапазону та кутового сектора можна використовувати певний колір чи позначення (рис. 5, а).

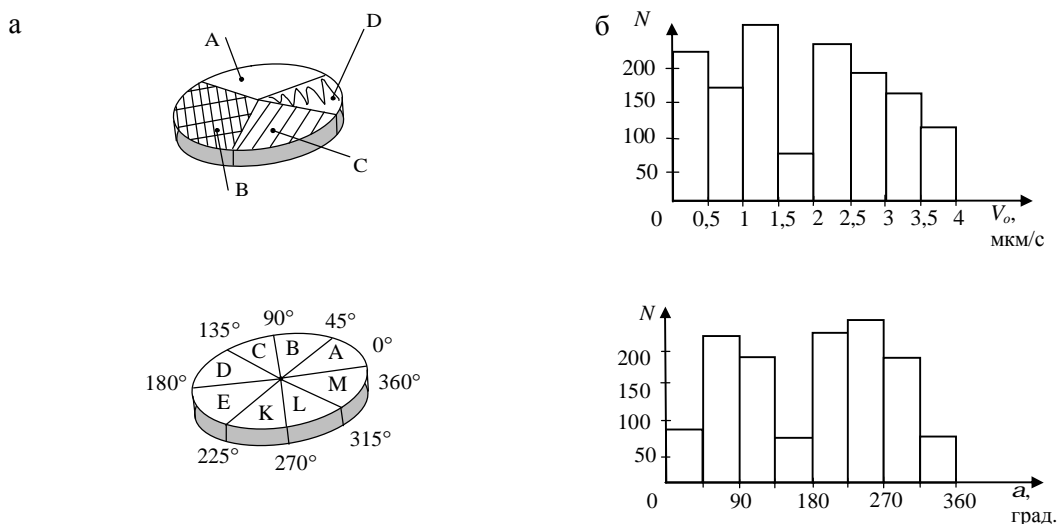


Рис. 5. Секторні та стовпцеві діаграми модуля та напрямку вектора швидкості МО

Стовпцеві діаграми вектора швидкості руху МО відображають статистику таблиці на рис. 3, де кількості точок відповідає висота стовпця, а кількості діапазонів – кількість стовпців (рис. 5, б). Зручно, підбираючи відповідну ширину діапазону значень швидкості та напрямку руху МО, забезпечити потрібну точність вимірювання цих величин.

Відображення результатів вимірювання параметрів декількох динамічних МО

Під груповими динамічними МО розумітимемо декілька окремих динамічних МО, які одночасно перебувають у полі зору ТСОМ, мають хаотичний (випадковий) характер руху зі змінними швидкістю та напрямом руху (рис. 6, а). Нерідко в галузях сучасної медицини, мікробіології, екології та багатьох інших виникає потреба проаналізувати динамічні параметри не тільки окремих МО, але і усереднені динамічні параметри усієї такої групи.

Для цього можна успішно використати всі вищенаведені способи відображення результатів вимірювання динаміки МО. Тільки в цьому випадку кількість окремих вимірювань буде суттєво більшою, тому візуальний вигляд отриманих результатів дещо зміниться. Наприклад, у випадку з *часовими графіками* необхідно буде відображати не по одному графіку модуля вектора швидкості чи напрямку руху, а відповідну до кількості МО кількість окремих графіків модуля вектора швидкості та напрямку руху для кожного окремого МО. Виникає також можливість звести всі результати вимірювань для різних МО в один усереднений графік модуля вектора швидкості та переважного напрямку руху МО (рис. 6, б).

На рисунку суцільною лінією відображено усереднені результати вимірювання модуля вектора швидкості всіх наявних у полі зору ТСОМ динамічних МО. На графіку усередненого значення модуля вектора швидкості стрілками позначений у відповідні моменти напрям руху групи динамічних МО, що переважає. Довжина стрілки відповідає усередненому значенню швидкостей руху групи МО.

Подання значення миттєвої швидкості на зображенні траєкторій руху декількох МО. Ця задача є нескладною, якщо траєкторії руху МО не перетинаються протягом всього часу вимірювань (рис. 7, а). Якщо траєкторії двох чи декількох МО перетинаються (рис. 7, б), то потрібно аналізувати, у які моменти часу це відбувається. Перетин траєкторій різними МО у різні моменти часу не впливає на правильність вимірювань, адже в цьому випадку кожен з МО був у точці перетину в різні моменти часу. Дані про моменти перетину можна отримати з часових графіків кожного з МО. У випадку перетину траєкторій різних МО у той самий момент часу, що відповідає зіткненню МО, їх злипанню чи накладанню один на одного, необхідно використовувати додаткові методи розрізнення окремих МО (наприклад, за допомогою розмірів, форми, геометричного центра, площі, прозорості, коефіцієнта відбиття, однорідності тощо).

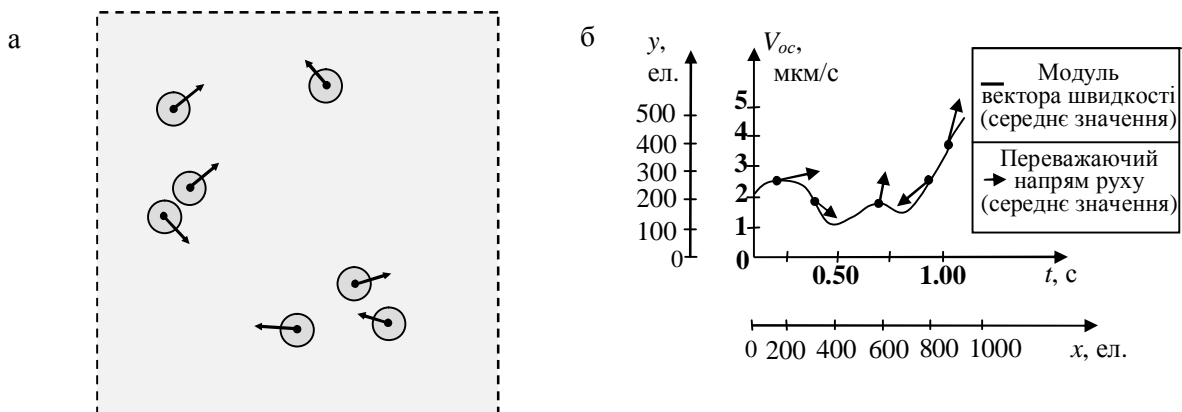


Рис. 6. Відображення результатів вимірювань у групі динамічних МО

На рисунку римськими цифрами I, II та III відповідно позначено моменти перетину МО своєї траєкторії руху, перетину траєкторій руху двох МО, перетину траєкторій руху трьох МО. Додатково відтінками сірого кольору та чорним кольором на траєкторіях руху показано діапазони зміни швидкостей руху кожного з МО. Таке подання результатів вимірювання параметрів

динамічних МО є доволі простим та інформативним. Можна також використати представлення траєкторій руху різними типами ліній (для чорно-білого зображення) та нанесенням часових міток на траєкторію руху кожного МО через однакові проміжки часу. Підрахунок часових міток теж може забезпечити можливість розрізнення траєкторій МО у випадку їх перетину, за умови, що частота нанесення цих міток однакова та не вища за частоту оновлення зображення траєкторій.

Інші способи відображення результатів вимірювання параметрів динамічних МО також дають змогу отримати як параметри окремих МО у групі, так і усереднені параметри групи МО (середнє переміщення, середню швидкість руху, середнє прискорення, переважний напрям руху тощо).

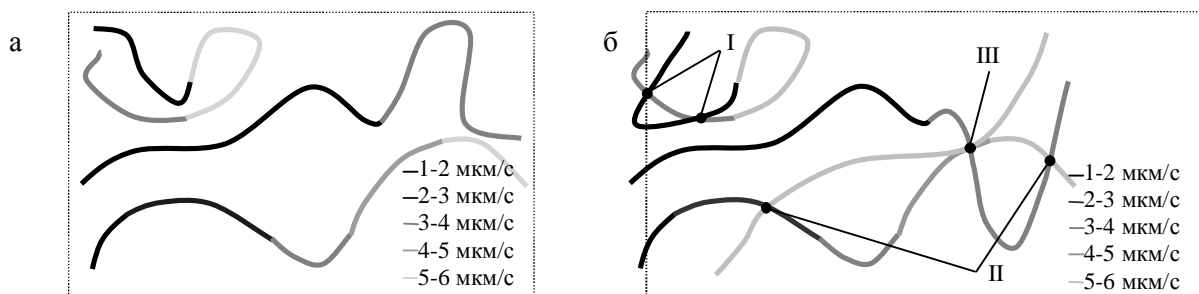


Рис. 7. Відображення траєкторій руху різних МО

Алгоритм виведення результатів вимірювання параметрів динамічних мікрооб'єктів

Наведемо узагальнений алгоритм роботи TCOM у режимі виведення результатів вимірювання параметрів одного окремого динамічного МО та декількох динамічних МО, які одночасно перебувають у полі зору мікроскопа. Можна запропонувати такий алгоритм:

1. Введення даних про розмір сканувального растра та швидкість сканування.
2. Пошук об'єкта/об'єктів дослідження скануванням у полі зору мікроскопа.
3. Побудова траєкторії/траєкторій руху МО в разі збігу положення центрів СЕ та МО у кожному кадрі сканування, занесення координат кожного положення МО в блок пам'яті.
4. Запуск системи визначення швидкості руху кожного окремого МО, обчислення швидкості та занесення результату в блок пам'яті.
5. Запуск системи визначення прискорення кожного окремого МО, обчислення прискорення та занесення результату в блок пам'яті.
6. Зчитування координат всіх положень кожного МО з блока пам'яті та обчислення переважного напрямку його руху, усереднення результатів обчислення для всіх МО у полі зору мікроскопа.
7. Зчитування обчислених значень швидкості кожного МО з блока пам'яті та усереднення результатів обчислення швидкості для всіх МО у полі зору мікроскопа.
8. Зчитування обчислених значень прискорення кожного МО з блока пам'яті та усереднення результатів обчислення прискорення для всіх МО у полі зору мікроскопа.
9. Перехід у режим відображення результатів вимірювання параметрів одного чи декількох МО з вибором методу представлення результатів вимірювання.

Пункти 3–9 виконуються по чергову в автоматичному режимі з частотою формування кадрів. Результати визначення швидкості виводяться на окремий цифровий індикатор або/і на екран монітора.

Висновки

Наведені способи відображення результатів вимірювання параметрів динамічних МО телевізійним сканувальним оптичним мікроскопом дають змогу спростити та зробити наочнішою роботу операторів, які працюють з таким мікроскопом. Практична реалізація описаних способів

дасть можливість збільшити кількість та швидкість аналізу параметрів як окремих МО, так і тих, що перебувають у групі з окремих МО, а також проаналізувати усереднені параметри групи динамічних МО загалом. Ці задачі дуже актуальні для використання у сучасних галузях медицини, мікробіології, екології тощо.

1. *Matiieshyn Y. M. Methods for Results Presentation of Velocity Vector Measurement in Television Scanning Optical Microscopy / Y. M. Matiieshyn, A. D. Pedan // Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science TCSET'2006 : Int. Conf., 28 February – 4 March 2006 : Proceedings. – Lviv-Slavsko (Ukraine), 2006. – P. 539–541.* 2. *Aitken R. J. World Health Organization (WHO) laboratory manual. For the examination of human semen and sperm – cervical mucus interaction / Aitken R. J., Comhair F., Baker H.W.G. ; 4th edition. – United Kingdom : Cambridge University Press, 1999. – 129 p.* 3. *Использование данных сканирующей цитофотометрии для анализа распределения поглощающего вещества в клетках / Г. В. Папаян, Ю. А. Магакян, Л. С. Агроскин [и др.] // Цитология. – 1982. – Т. XXIV, № 11. – С. 1360–1365.* 4. *Агроскин Л. С. Цитофотометрия. Аппаратура и методы анализа клеток по светопоглощению / Л. С. Агроскин, Г. В. Папаян. – Л. : Наука, 1977. – 295 с.* 5. *Бобер С. Практическая электрокардиография / Бобер С., Домбровская Б., Домбровский А. – Варшава : Польское медицинское изд-во, 1974. – 283 с.* 6. *Медична біологія: підручник / [В. П. Пішак, Ю. І. Бажора та ін.]. – Вінниця : Нова книга, 2004. – 656 с.* 7. *Корн Г. Справочник по математике [для научных работников и инженеров] / Г. Корн, Т. Корн. – Москва: Наука, 1973. – 832 с. : ил. – Библиогр.: с. 796-800.* 8. *Бронштейн И. Н. Справочник по математике / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – М. : Наука, 1965. – 608 с.* 9. *Режим доступу: http://www.matrix-eng.ru/library/articles/TKT_04_2010_Hamlet%20Vidscope%203D.pdf.*