

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

## РОЗШИРЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ТЕЛЕВІЗІЙНОГО СКАНУВАЛЬНОГО ОПТИЧНОГО МІКРОСКОПА ПІД ЧАС ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРООБ’ЄКТІВ

© Шклярський В. І., Матієшин Ю. М., Баланюк Ю. В., Янкевич Р. В., 2016

Висвітлено питання, які стосуються дослідження параметрів різних типів мікрооб’єктів за допомогою телевізійного сканувального оптичного мікроскопа, що працює у відповідних режимах роботи. Мікрооб’єкти можуть бути як одиничними, так і перебувати у групі з декількох окремих мікрооб’єктів. Наведено принципи та структурні схеми побудови такого мікроскопа, які забезпечують високу точність та мінімальні спотворення під час вимірювань.

Ключові слова: телевізійний сканувальний оптичний мікроскоп, режими роботи, кріобіологія, кріомедицина.

V. Shkliarskyi, Y. Matiieshyn, Y. Balanyuk, R. Yankevych  
 Lviv Polytechnic National University

## EXPANSION OF FUNCTIONAL CAPABILITIES OF TELEVISION SCANNING OPTICAL MICROSCOPE IN THE STUDY OF MICROOBJECTS

© Shkliarskyi V., Matiieshyn Y., Balanyuk Y., Yankevych R., 2016

The problems relating to research options for various types of microobjects using the television scanning optical microscope that works in the respective modes. This can be either microobjects single and stay in a group of several individual microobjects. The following principles and structural scheme of construction of the microscope, providing high accuracy and minimal distortion in the measurements.

Today in various fields of science and technology is needed research of microobjects (MO), whose dimensions are within 0,2–100 microns. For research of such MO the optical microscopes are used. This microscope makes it possible to distinguish structures with the distance between elements of 0,20 microns.

In the arsenal of optical microscopy is a wide range of devices, using the same principle of operation (using lenses create enlarged image of MO), different individual characteristics that make it possible to obtain more information about MO or circumvent difficulties imposed by the conditions of the study. Thus, the most common biological job microscopes, research biological microscopes, inverted biological microscopes. For a better understanding of processes in cells and in quantitative vivo studies used fluorescent microscopes. Ultraviolet and infrared microscopes, polarizing, phase-contrast, interference, microscopes of the dark field, stereoscopic microscopes, comparison microscopes, television microscopes, high-temperature and many others – they differ primarily features of optical channel.

In general, today known following types of microscopes used to study objects of small size: acoustic; nuclear power; binocular; video (chamber); measurement; reflective; antireflection electronic with photoresponse; laser; metallographic; microsurgical; optical; comparative; X-ray; scanning (raster) optical; scanning confocal; scanning electronic; scanning tunneling; stroboscopic; fluorescent etc. Under television optical microscope mean

**the microscope, which in addition to optical elements are used those or other products (and related methods) that are specific to television.**

**Key words: Television Scanning Optical Microscope, Operating Modes, Cryobiology, Cryomedicine.**

### **Вступ**

Сьогодні у різних галузях науки і техніки виникає потреба дослідження мікрооб'єктів (МО), розміри яких у межах 0,2–100 мкм. Для дослідження таких МО використовують оптичні мікроскопи. Такий мікроскоп дає можливість розрізнити структури з відстанню між елементами до 0,20 мкм [1].

**Огляд та аналіз літератури.** В арсеналі оптичної мікроскопії є доволі широкий спектр приладів, які, використовуючи той самий принцип дії (створення за допомогою лінз збільшеного зображення МО), відрізняються окремими характеристиками, що дають можливість одержати додаткову інформацію про МО або обійти певні труднощі, накладені умовами дослідження. Так, найпоширеніші біологічні робочі мікроскопи (далі дослідницькі біологічні мікроскопи, інвертовані біологічні мікроскопи). Для глибокого вивчення процесів у клітинах та кількісних прижиттєвих досліджень застосовуються люмінесцентні мікроскопи. Ультрафіолетові та інфрачервоні мікроскопи, поляризаційні, фазоконтрастні, інтерференційні, мікроскопи темного поля, стереоскопічні мікроскопи, мікроскопи порівняння, телевізійні мікроскопи, високотемпературні та інші відрізняються передусім особливостями оптичного каналу [2].

Загалом ж сьогодні на практиці застосовують такі типи мікроскопів, які використовуються для дослідження об'єктів малих розмірів: акустичні; атомних сил; біокулярні; відео (камерні); вимірвальні; відбивні; просвітлювальні електронні з фотовідповіддю; лазерні; металографічні; мікрохірургічні; оптичні; порівняльні; рентгенівські; сканувальні (растрові) оптичні; сканувальні конфокальні; сканувальні електронні; сканувальні тунельні; стробоскопічні; флуоресцентні тощо [3].

**Постановка задачі та її зв'язок з важливими науковими завданнями.** Важливе місце серед сканувальних мікроскопів займають сканувальні оптичні мікроскопи, які використовують принцип послідовного у часі передавання інформації про елементи зображення, скануючи досліджуваній МО чи площину його оптичного зображення (точніше, чутливу площину перетворювача випромінювання – електричний сигнал) світловим зондом. Цим зумовлене існування двох типів телевізійних оптичних мікроскопів, а саме камерних та сканувальних.

На сучасному етапі розвитку електроніки все ширше застосовуються телевізійні сканувальні оптичні мікроскопи на базі електронно-променевої трубки (ЕПТ) високої роздільної здатності, які можуть використовуватись для відображення та дослідження МО в медицині, біології, мінералогії, металографії, хімії, криміналістиці, мистецтвознавстві тощо.

Під телевізійним оптичним мікроскопом, на відміну від оптичного, розумітимемо мікроскоп, у якому, крім оптичних елементів, використовуються ті чи інші засоби (і відповідні методи), характерні для телебачення [4–6]. Це стосується насамперед поелементного передавання інформації про досліджуваній об'єкт (ДО) та поелементного відтворення цього зображення. Під ДО розуміємо досліджуваній МО та фон, що його оточує, у межах поля зору мікроскопа. Інформація про елемент (піксел) зображення ДО – це дані про інтенсивність свічення цього елемента та, часто, його колір.

### **Телевізійний сканувальний оптичний мікроскоп для дослідження мікрооб'єктів у процесі надшвидкого охолодження**

В основу побудови структурної схеми цього телевізійного сканувального оптичного мікроскопа (ТСОМ) покладено завдання створити прилад, в якому за рахунок введення нових елементів та зв'язків між ними забезпечується розширення його функціональних можливостей під час дослідження МО у процесі їх надшвидкого охолодження. Отриману схему побудови ТСОМ можна використати у кріомедицині та кріобіології для дослідження різних типів МО в процесі надшвидкого охолодження.

Розроблено структурну схему ТСОМ для дослідження МО (рис. 1), що містить: блок керування режимами роботи БКРР, блок формування сканувального растра БФСР, блок сканувальної електронно-променевої трубки БЕПТ, блок оптичного каналу БОК, блок фотоелектронного помножувача БФЕП, блок формування відеосигналу БФВС, блок оброблення відеосигналу БОВС, блок спряження з персональним комп'ютером БСПК, персональний комп'ютер ПК та телевізійний монітор ТМ [7].

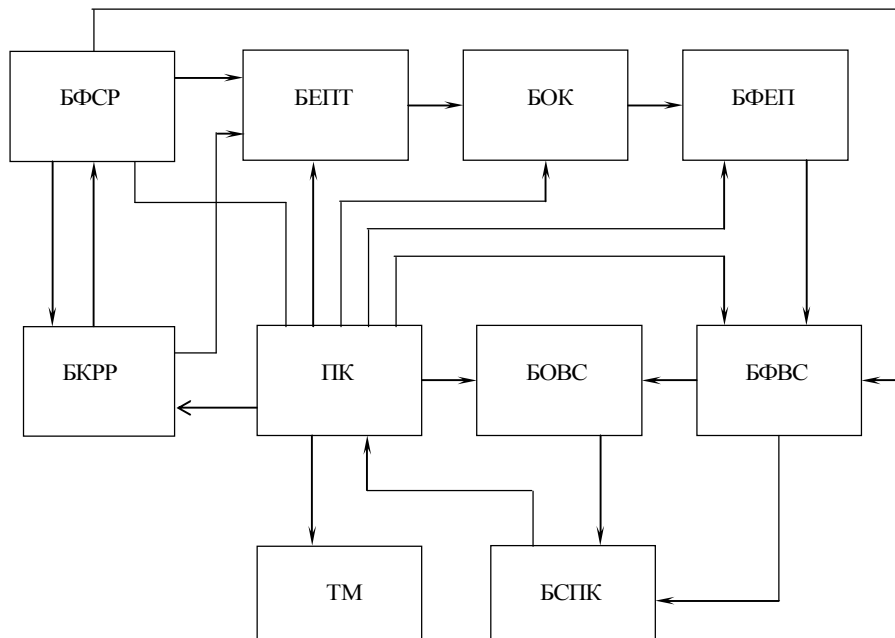


Рис. 1. Структурна схема ТСОМ для дослідження МО

Однак такий ТСОМ непридатний для використання з метою дослідження МО в процесі їх надшвидкого охолодження, тому удосконалена структурна схема ТСОМ для дослідження різних типів МО в процесі надшвидкого охолодження, окрім вже наведених, містить нові елементи та зв'язки між ними, а саме: блок досліджуваного МО БМО, блок керування лазером БКЛ, блок лазера БЛ, блок керування охолодженням БКО, блок охолодження БО та блок порівняння БП (рис. 2).

Введення додаткових елементів та зв'язків дає змогу розширити функціональні можливості ТСОМ щодо дослідження МО в процесі їх надшвидкого охолодження [8].

Розглянемо, як працює такий ТСОМ. Блок керування режимами роботи БКРР на першому виході формує сигнали, які визначають розмір та роздільну здатність сканувального растра на екрані ЕПТ, на другому виході – сигнали, які визначають яскравість свічення сканувального растра на екрані ЕПТ, на третьому виході – сигнал, який визначає режим роботи блока керування лазером БКЛ (імпульсний режим зміни тривалості свічення лазера чи плавна зміна інтенсивності свічення лазера), на четвертому виході – сигнал, який визначає максимальну температуру охолодження досліджуваного мікрооб'єкта МО, на п'ятому виході – сигнал, який визначає режим роботи блока керування охолодженням БКО (максимальну температуру охолодження та закон зміни температури – лінійний чи нелінійний). Блок формування сканувального растра БФСР на першому виході формує аналогові сигнали рядкової та кадрової розгортки сканувального растра, часові параметри та амплітуда яких відповідають сигналам керування, які надходять з блока керування режимами роботи БКРР. На другому виході блока формування сканувального растра БФСР формуються сигнали рядкової та кадрової синхронізації, а також сигнали рядкового та кадрового гасіння, які подаються на другий вхід телевізійного монітора ТМ, де використовуються для формування растра відповідно до формування сканувального растра, а також на другий вхід блока формування відеосигналу БФВС, де використовуються для формування повного відеосигналу нормованої амплітуди. Блок сканувальної електронно-променевої трубки БЕПТ забезпечує всі

режими роботи використовуваної трубки, а також формування струмів відхилення сканувального променя світлого растра згідно з сигналами, які надходять з блока формування сканувального растра БФСР та блоку керування режимами роботи БКРР. Світловий потік з екрана сканувальної ЕПТ подається на перший вхід блока оптичного каналу БОК і проектується на досліджуваний мікрооб'єкт МО, суміщений з блоком охолодження БО, який забезпечує охолодження досліджуваного МО до наперед заданої температури. На другий вхід блока оптичного каналу БОК надходить світловий потік з блока лазера БЛ, який підсвічує вибраний фрагмент досліджуваного МО. Режим роботи блока лазера БЛ вибирається за допомогою блока керування лазером БКЛ так, щоб потужність його випромінювання забезпечувала таку температуру вибраного фрагмента, що дорівнює початковій температурі охолодження всього МО незалежно від температури його подальшого охолодження, яка визначається блоком охолодження БО.

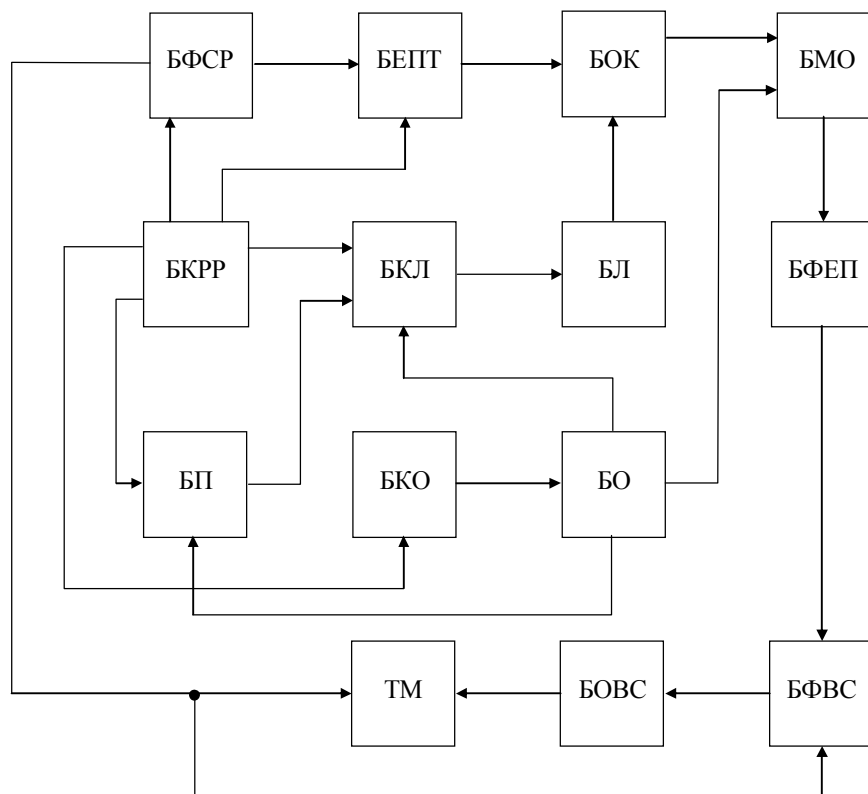


Рис. 2. Структурна схема ТСОМ для дослідження МО у процесі надшвидкого охолодження

Світловий потік, який відбився від досліджуваного МО, подається на блок фотоелектронного помножувача БФЕП, який перетворює світловий сигнал на електричний. Блок формування відеосигналу БФВС підсилює електричний сигнал до нормованої величини та замішує в нього сигнали кадрової та рядкової синхронізації, сигнали кадрового та рядкового гасіння згідно із сигналом, який надходить на його другий вхід. Блок обробки відеосигналу БОВС підсилює повний відеосигнал до величини, необхідної для роботи телевізійного монітора ТМ. На екрані телевізійного монітора ТМ формується зображення досліджуваного МО в процесі його охолодження. Блок керування охолодженням БКО формує керуючі сигнали згідно із сигналом, який надходить з блока керування режимами роботи БКРР і подає їх на блок охолодження БО, який перетворює ці сигнали на відповідну зміну температури досліджуваного МО. На другому виході блока охолодження БО формується сигнал згідно з його температурою, який надходить на перший вхід блока керування лазером БКЛ і змінює його вихідний сигнал так, щоб температура вибраного фрагмента досліджуваного МО залишалася на початковому вибраному рівні. Блок порівняння БП порівнює два сигнали – сигнал блока охолодження БО, який відповідає температурі блока

охолодження та сигнал з четвертого виходу блока керування режимами роботи БКРР, який відповідає мінімальному значенню температури, до якої повинен охолодитися досліджуваний МО. Після досягнення блоком охолодження БО заданої температури охолодження блок порівняння БП формує на своєму виході сигнал, який надходить на третій вхід блока керування лазером БКЛ і вимикає його. В результаті цього температура МО різко знижується від її початкового значення до температури блока охолодження БО зі швидкістю, яка зумовлена теплотехнічними параметрами МО, тобто відбувається надшвидке охолодження фрагмента досліджуваного МО від початкової температури до наперед заданої низької температури. Процес надшвидкого охолодження фрагмента досліджуваного МО можна спостерігати на екрані телевізійного монітора ТМ.

### **Телевізійний сканувальний оптичний мікроскоп для дослідження малокоонтрастних мікрооб'єктів**

Цей варіант побудови ТСОМ призначений для дослідження малокоонтрастних біологічних та медичних МО з великим контрастом формованого зображення. Тут реалізований принцип компенсації нерівномірності свічення сканувального растра за рахунок впливу шумів люмінофора, внаслідок чого забезпечується значне покращення відношення сигнал/шум на виході ТСОМ, тобто контрасту зображення досліджуваного МО.

Найближчим за технічною суттю до цього мікроскопа є ТСОМ, який описаний в [7]. Однак у ньому лише частково здійснюється компенсація шумів люмінофора використовуваної сканувальної ЕПТ для освітлення ДО, що приводить до збільшення відношення сигнал/шум на виході пристрою за умови, що ДО має великий контраст. Шуми люмінофора впливають на зміну яскравості свічення екрана ЕПТ по всій площі формованого світного сканувального растра, що приводить до зміни амплітуди вихідного сигналу за однакового контрасту ДО. Зміна амплітуди вихідного сигналу за однакового контрасту призводить до погіршення відношення сигнал/шум формованого вихідного сигналу. В такому пристрої можлива лише часткова компенсація шумів люмінофора для малокоонтрастних об'єктів дослідження.

ТСОМ (рис. 3) містить блок сканувальної електронно-променевої трубки БЕПТ, об'єкти О, напівпрозоре дзеркало НПДз, дзеркало Дз, досліджуваний об'єкт ДО, перший конденсор К1, другий конденсор К2, перший фотоелектронний помножувач ФЕП1, другий фотоелектронний помножувач ФЕП2, підсилювач П, детектор Д, фільтр Ф, підсилювач з регульованим коефіцієнтом підсилення ПРП, перший логарифмічний підсилювач ЛП1, другий логарифмічний підсилювач ЛП2, суматор С, антилогарифмічний підсилювач АЛП [9].

Розглянемо, як працює ТСОМ. На екрані сканувальної ЕПТ за допомогою блока сканувальної електронно-променевої трубки БЕПТ формується світний растр. У разі переміщення світної плями в межах робочого поля світного сканувального растра світловий потік, який падає на ДО, за рахунок зміни яскравості свічення сканувальної плями не залишається постійним. Флуктуаційні завади, спричинені шумами люмінофора, призводять до погіршення відношення сигнал/шум. Вплив флуктуацій у запропонованій схемі усувають так. Світловий потік, який пройшов через об'єкти О, розділяється напівпрозорим дзеркалом НПДз на два потоки. Перший потік використовується для освітлення ДО, а другий потік через дзеркало Дз та другий конденсор К2 надходить на оптичний канал другого фотоелектронного помножувача ФЕП2. Відбитий від напівпрозорого дзеркала НПДз світловий потік використовується як опорний. На виході другого фотоелектронного помножувача ФЕП2 формується електричний сигнал, зміна амплітуди якого відповідає зміні яскравості свічення сканувальної плями. Змінна складова цього сигналу подається на підсилювач з регульованим коефіцієнтом підсилення ПРП. Зміна коефіцієнта підсилення здійсню відповідно до електричного сигналу, який прямо пропорційний до амплітуди сигналу на виході підсилювача П. Світловий потік, який відбився від ДО або пройшов через нього, збирає перший конденсор К1 і подає на оптичний вхід першого фотоелектронного помножувача ФЕП1. Отже, електричний сигнал на виході першого фотоелектронного помножувача ФЕП1 пропорційний до прозорості або коефіцієнта відбиття елемента ДО. Що більший сигнал на виході підсилювача П, то більша в ньому частка зміни світлового потоку за рахунок флуктуацій зміни яскравості свічення сканувальної

плями. На виході детектора Д формується сигнал, амплітуда якого пропорційна до амплітуди сигналу на виході підсилювача П. Фільтр Ф усуває високочастотну складову електричного сигналу і забезпечує сталу часу, з якою необхідно регулювати коефіцієнт підсилення підсилювача з регульованим коефіцієнтом підсилення ПРП. Отже, амплітуда сигналу на виході підсилювача з регульованим коефіцієнтом підсилення ПРП є прямо пропорційною до амплітуди сигналу на виході підсилювача П. Якщо отримані сигнали з виходів підсилювача П та підсилювача з регульованим коефіцієнтом підсилення ПРП прологарифмувати першим логарифмічним підсилювачем ЛП1 та другим логарифмічним підсилювачем ЛП2 відповідно, знайти різницю логарифмів на виході суматора С, та антилогарифмувати, то на виході антилогарифмічного підсилювача АЛП отримаємо сигнал, пропорційний до коефіцієнта пропускання або коефіцієнта відбивання ДО без урахування шумів люмінофора використовуваної ЕПТ.

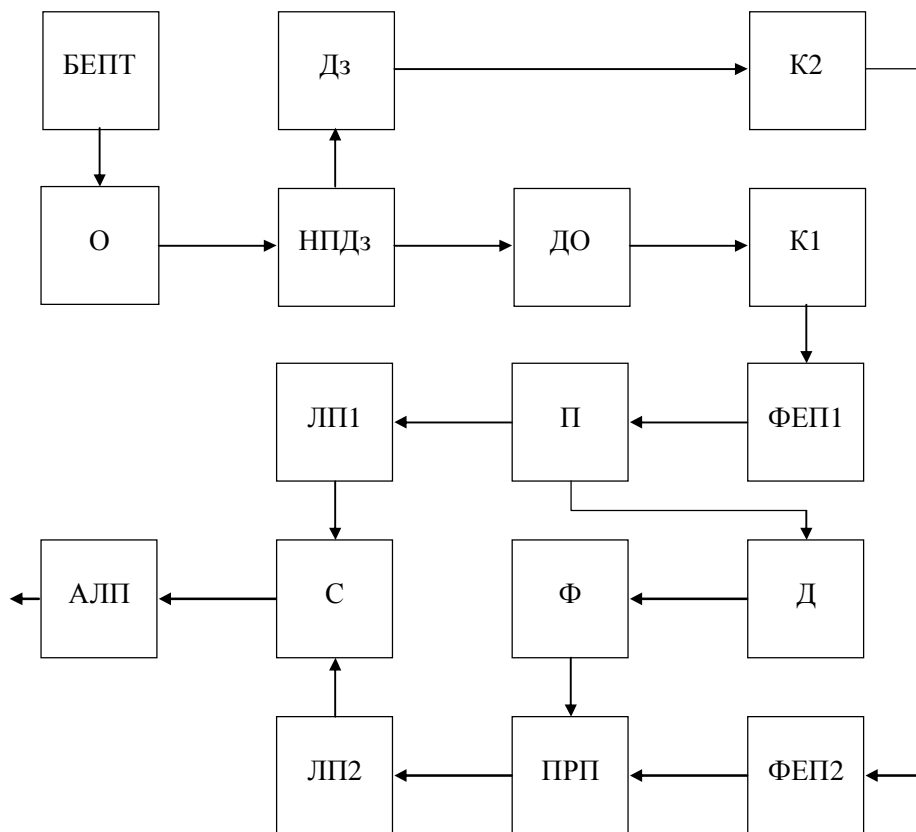


Рис. 3. Структурна схема ТСОМ для дослідження МО з малим контрастом зображення

Отже, запропонований ТСОМ дасть змогу покращити відношення сигнал/шум вихідного сигналу за рахунок зменшення впливу шумів люмінофора під час дослідження малококонтрастних мікрооб'єктів.

#### Дослідження параметрів різних типів мікрооб'єктів за допомогою телевізійного сканувального оптичного мікроскопа

На рис. 4, а наведено результат процесу сканування групи з чотирьох окремих динамічних МО, які одночасно перебувають у полі зору ТСОМ. Моделювання процесу сканування відбувалось за допомогою програми MatLAB r2013b.

Кожен динамічний МО має своє умовне позначення (див. рис. 4, а), а зони зміни положень кожного МО протягом процесу досліджень обмежені штриховою лінією з відповідним позначенням римськими цифрами (I-IV). Поле зору мікроскопа імітується квадратом з розмірами  $10 \times 10$  мкм, центр якого з координатами  $(X_{ц}; Y_{ц})$  відповідає центру сканувального растра.

У процесі моделювання у середовищі програми MatLAB r2013b задано такі вхідні дані: кількість окремих досліджуваних МО – 4; кількість кадрів сканування повноформатним сканувальним растром – 50; розміри поля зору TCOM – 10×10 мкм; координати центра сканувального повноформатного растра  $(X_{II}; Y_{II}) = (5 \text{ мкм}; 5 \text{ мкм})$ ; переміщення МО –  $\Delta L_j = \sqrt{(x_i - X_{II})^2 + (y_i - Y_{II})^2}$ ;  $x_i$  та  $y_i$  – поточні координати центра МО;  $i$  – поточний номер кадру сканування;  $j$  – номер МО, який досліджується у цей момент.

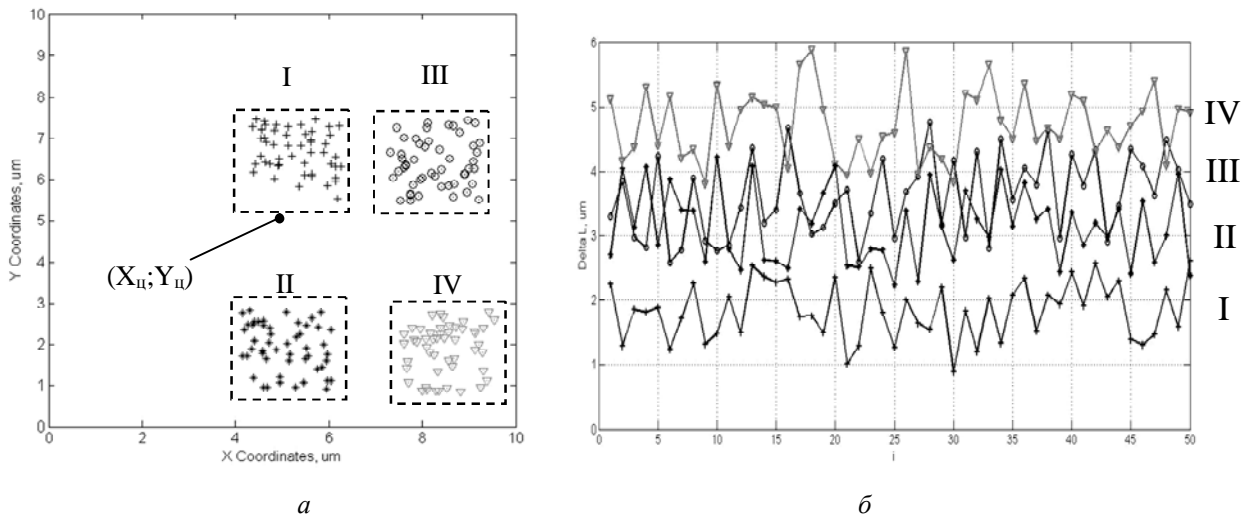


Рис. 4. Математична модель дослідження групи з окремих динамічних МО

З рис. 4, а видно, що межі переміщення кожного МО задані так, що положення різних МО у межах поля зору TCOM не накладаються між собою. Це дещо спрощує цю модель процесу дослідження параметрів МО, але, водночас, не дає змоги проаналізувати випадок перекриття між окремими положеннями різних МО, що є адекватнішим до реальних досліджень. Тому цю модель процесу дослідження параметрів МО можна вдосконалити так, щоб з'явилася можливість дослідження різних положень кожного МО по всьому полю сканування в різні чи у ті самі моменти часу. Це передбачає додаткове використання алгоритмів розпізнавання та ідентифікації різних МО залежно від їх форми, площі, прозорості, динаміки руху тощо.

На рис. 4, б побудовано зведений графік переміщень кожного з досліджуваних МО у межах своєї зони положень. Такий графік може давати інформацію про динаміку (рухливість) окремих МО у разі їх порівняння, що є важливим критерієм у деяких галузях мікробіології та медицини (дослідження сперматозоїдів людини).

### Висновки

Розглянуто особливості застосування різних режимів роботи телевізійного сканувального оптичного мікроскопа для дослідження різних типів одиничних та групових мікрооб'єктів. Побудовано відповідні структурні схеми мікроскопа та математичну модель, які дають змогу з високою точністю та мінімальними спотвореннями проводити дослідження мікрооб'єктів. Практична реалізація описаних методів дасть можливість збільшити кількість та поліпшити якість аналізу параметрів і окремих МО, і тих, що перебувають у групі з окремих МО. Ці завдання є дуже актуальні з погляду використання у сучасних галузях медицини, мікробіології, екології тощо.

1. *Мікроскопы* / Скворцов Г. Е., Панов В. А., Поляков Н. И., Федин Л. А.; под ред. Н. И. Полякова. Москва: Машиностроение, 1969. 512 с. 2. Дюков В. Г., Кудеяров Ю. А. *Растровая оптическая микроскопия*. Москва: Наука, 1992. 208 с. 3. *Микроскопические и флуоресцентные методы в медицине* / В. Г. Абакумов, А. Д. Аль-Кадими, А. И. Рыбин, Й. Сватош. К. : Компас, 2000.

64 с. 4. *Back to television scanning optical microscopy* / Z. D. Hrytskiv, A. D. Pedan, V. I. Shkliarskyi // *Biomedical Optics : OSA Topical Meeting and Tabletop Exhibit, 19–22 March 2006 : Technical digest proceedings. Fort Lauderdale, Florida (USA), 2006. P. 8, ISBN1-55752-807-1, Tul76, (CD-ROM edition).*

5. *Television-computer scanning optical microscope: foretime, nowadays and the near future* / Z. D. Hrytskiv, A. D. Pedan, V. I. Shkliarskyi // *Telecommunication in Modern Satellite, Cable and Broadcasting services IEEE TELSIS'2005: 7-th int. conf. 28–30 Sept. 2005: proc. of conf. – Nis (Serbia–Montenegro). 2005. № 15. P. 243–252.*

6. Hrytskiv Z. D., Pedan A. D. *Concerning on Advantage of Television Scanning Optical Microscopy* // *Modern Problems of Radio Engineering Telecommunications and Computers Science TCSET'2006: int. conf. February 24–March 4 2006: proc. of conf. Lviv-Slavsko (Ukraine). 2006. P. 522–523.*

7. Шклярський В. І. *Сканувальна телевізійна оптична мікроскопія: теорія та практика: монографія. Львів: Видавництво Львівської політехніки. 2010. 456 с.*

8. Пат. 103133 Україна, МПК G06F 3/153, H04N 5/00. *Сканувальний телевізійний оптичний мікроскоп* / Баланюк Ю. В., Матієшин Ю. М., Педан А. Д., Шклярський В. І.; заявник та власник патенту Національний університет “Львівська політехніка”. № u201503699 ; заявл. 20.04.2015 ; опубл. 10.12.2015, Бюл. № 23.

9. Пат. 103134 Україна, МПК G06F 3/153, H04N 5/00. *Сканувальний телевізійний оптичний мікроскоп* / Баланюк Ю. В., Гудзь Б. В., Шклярський В. І.; заявник та власник патенту Національний університет “Львівська політехніка”. № u201503700 ; заявл. 20.04.2015 ; опубл. 10.12.2015, Бюл. № 23.

### References

1. *Microscopes* / [Skvortsov G. E., Panov V. A., Polyakov N. I., Fedin L. A.]; ed. N. I. Polyakov. – M. : Mechanical engineering, 1969. – 512 p. – (In Rus.).

2. Djukov V. G. *Raster Optical Microscopy* / V. G. Djukov, Yu. A. Kudiyarov. – M. : Nauka, 1992 – 208 p. – (In Rus.).

3. *Microscopic and fluorescence methods in medicine* / V. G. Abakumov, A. D. Al-Kadimi, A. I. Rybin, J. Svatosh. – K. : Compass, 2000. – 64 p. – (In Rus.).

4. Hrytskiv Z. D. *Back to television scanning optical microscopy* / Z. D. Hrytskiv, A. D. Pedan, V. I. Shkliarskyi // *Biomedical Optics : OSA Topical Meeting and Tabletop Exhibit, 19–22 March 2006 : Technical digest proceedings. – Fort Lauderdale, Florida (USA), 2006. – P. 8, ISBN1-55752-807-1, Tul76, (CD-ROM edition).*

5. Hrytskiv Z. D. *Television-computer scanning optical microscope: foretime, nowadays and the near future* / Z. D. Hrytskiv, A. D. Pedan, V. I. Shkliarskyi // *Telecommunication in Modern Satellite, Cable and Broadcasting services IEEE TELSIS'2005: 7-th int. conf. 28–30 Sept. 2005: proc. of conf. – Nis (Serbia–Montenegro). – 2005. – № 15. – P. 243–252.*

6. Hrytskiv Z. D. *Concerning on Advantage of Television Scanning Optical Microscopy* / Z. D. Hrytskiv, A. D. Pedan // *Modern Problems of Radio Engineering Telecommunications and Computers Science TCSET'2006: int. conf. February 24 – March 4 2006: proc. of conf. – Lviv-Slavsko (Ukraine). – 2006. – P. 522–523.*

7. Shkliarskyi V. I. *Television scanning optical microscopy: Theory and Practice: Monograph* / V. I. Shkliarskyi. – L. : Lviv Polytechnic Publishing house. – 2010. – 456 p. – (In Ukr.).

8. Пат. 103133 Україна, МПК G06F 3/153, H04N 5/00. *Scanning Television Optical Microscope* / Balanyuk Yu. V., Matiieshyn Yu. M., Pedan A. D., Shkliarskyi V. I.; the applicant and patent owner National University “Lviv Polytechnic”. – № u201503699 ; appl. 20.04.2015 ; publ. 10.12.2015, Bull. Number № 23.

9. Пат. 103134 Україна, МПК G06F 3/153, H04N 5/00. *Scanning Television Optical Microscope* / Balanyuk Yu. V., Hudz B. V., Shkliarskyi V. I.; the applicant and patent owner National University “Lviv Polytechnic”. – № u201503700 ; appl. 20.04.2015 ; publ. 10.12.2015, Bull. Number № 23.