

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**



**БАЛАНЮК ЮРІЙ ВІКТОРОВИЧ**

УДК 621.397.13

**МЕТОДИ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕЛЕВІЗІЙНОГО СКАНУВАЛЬНОГО  
МІКРОСКОПА З ОСВІТЛЕННЯМ ДОСЛІДЖУВАНИХ МІКРООБ'ЄКТІВ  
В УЛЬТРАФІОЛЕТОВОМУ ДІАПАЗОНІ**

05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи

**Автореферат**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Львів – 2017

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі радіоелектронних пристроїв та систем Національного університету «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор  
**Шклярський Володимир Іванович**,  
Національний університет «Львівська політехніка»,  
завідувач кафедри радіоелектронних пристроїв та систем.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, доцент  
**Загребнюк Віктор Іванович**,  
Одеський національний морський університет,  
завідувач кафедри технічної кібернетики;

кандидат технічних наук, доцент  
**Лазебний Володимир Семенович**,  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»,  
доцент кафедри звукотехніки та реєстрації  
інформації.

Захист відбудеться «06» жовтня 2017 р. о 14<sup>30</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.10 у Національному університеті «Львівська політехніка» (79013, м. Львів, вул. Ст. Бандери, 12, ауд. 226 головного навчального корпусу).

З дисертацією можна ознайомитись у науковій бібліотеці Національного університету «Львівська політехніка» (79013, м. Львів, вул. Професорська, 1).

Автореферат розіслано «04» вересня 2017 р.

Учений секретар спеціалізованої  
вченої ради, к.т.н., доцент



І.В. Демидов

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** На сьогоднішній день у різних галузях науки і техніки виникає потреба дослідження мікрооб'єктів (МО), розміри яких знаходяться в межах 0,3 – 100 мкм. До таких МО відносять мікроорганізми, більшість рослинних і тваринних клітин, дрібні кристали, деталі мікроструктури металів і сплавів тощо. Для спостереження і вивчення таких об'єктів призначені мікроскопи різних типів. Важливе місце серед мікроскопів займають телевізійні сканувальні мікроскопи (ТСМ), які використовують принцип послідовного у часі передавання інформації про елементи зображення через сканування досліджуваного МО світловим зондом. Відомі два типи ТСМ: камерні та сканувальні. Щоразу ширшого застосування набувають ТСМ на базі електронно-променевої трубки (ЕПТ) високої роздільної здатності. Для збільшення можливостей ТСМ використовують ЕПТ з ультрафіолетовим світлінням екрана. Такий мікроскоп дозволить перевищити класичну дифракційну межу роздільної здатності, і буде з успіхом функціонувати замість багатьох модифікацій мікроскопів. Він може забезпечувати: прямий та інвертований режими роботи; роботу в режимі прямого та відбитого світла; роботу в режимі темного поля та режимі наведеної люмінесценції.

Детальний теоретичний аналіз сканувальних систем різного призначення і їх технічної реалізації виконано у роботах Г. П. Катиса та В.М. Шкунденкова. Особливості формування сигналів у фотоелектронних сканувальних системах містяться у працях В. Г. Абакумова. Сканувальні пристрої, побудовані на основі ЕПТ високої роздільної здатності, розглянуто в монографіях, виданих під редакцією С. Т. Васькова та З.Д. Грицьківа. Низку теоретичних питань побудови сканувальної і телевізійної мікроскопії та її практичної реалізації розглянуто в монографії Шклярського В.І. За кордоном у період 2000 – 2014 рр. роботи у напрямку сканувальних систем проводились фірмою Cosmic technologies corporation (США). Однією з найвідоміших фірм з побудови телевізійних камерних мікроскопів є фірма CARL ZEISS (Німеччина).

Сучасний стан розробок, які проводять в Україні, а також врахування здобутку закордонних дослідників у просуванні телевізійних мікроскопів на ринок свідчать про те, що необхідно розширити область застосування ТСМ для дослідження МО при освітленні їх в ультрафіолетовому діапазоні з формуванням зображення досліджуваного МО у видимому спектрі. Це дозволить більше використовувати ТСМ у біології, медицині, органічній хімії, мистецтвознавстві, криміналістиці та інших галузях, де важливим є визначення параметрів різних МО, що свідчить про актуальність цієї роботи. Важливо покращити технічні параметри мікроскопів, зокрема, чутливість, роздільну здатність, глибину різкості, інформативність зображення.

Отже, виникає необхідність розв'язання наукового завдання покращення технічних параметрів телевізійного сканувального мікроскопа, що дозволить поліпшити якість формованого зображення досліджуваного об'єкта, збільшити швидкодію формування його зображення та розширити функціональні можливості мікроскопа внаслідок використання в ньому для освітлення

досліджуваного об'єкта в ультрафіолетовому діапазоні спеціалізованої електронно-променевої трубки високої роздільної здатності.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Завдання, які вирішені у даній дисертаційній роботі, є складовою частиною наукових проектів, що протягом тривалого часу здійснюються на кафедрі радіоелектронних пристроїв та систем Національного університету "Львівська політехніка". Дослідження, висвітлені в дисертаційній роботі, проводили згідно з планом науково-дослідних робіт Національного університету "Львівська політехніка" в рамках держбюджетних робіт: ДБ/ФЛЮОР «Сканувальна телевізійно-оптична ультрафіолетова мікроскопія для дослідження біологічних мікрооб'єктів» (номер держ. реєстрації 0107U000832), ДБ/МІКРОСКОПІЯ «Сканувальна телевізійно-оптична мікроскопія для кріобіології та кріомедицини» (номер держ. реєстрації 0109U001154); ДБ/ЛЮМІНОФОР «Розроблення нанолюмінесцентного скануючого оптичного мікроскопа для дослідження функціонування мікроорганізмів під впливом низьких температур» (номер держ. реєстрації 0111U001227), ДБ/КРІОБ «Розроблення люмінесцентного скануючого оптичного мікроскопа з керованим швидким заморожуванням мікрооб'єкта для досліджень в кріобіології та нанотехнологіях» (номер держ. реєстрації 0113U001395), де автор приймав участь як виконавець.

**Мета і завдання дослідження.** Мета дисертаційної роботи полягає у покращенні технічних параметрів ТСМ, які дозволять підвищити якість формованого зображення ДО, збільшити швидкодію формування зображення ДО та розширити функціональні можливості ТСМ за рахунок використання для освітлення ДО в ультрафіолетовому діапазоні спеціалізованої ЕПТ високої роздільної здатності. Завдання досліджень:

1. Розробити метод формування прецизійного сканувального растра на екрані ЕПТ, розміри та зміщення якого змінюються у широких межах.
2. Визначити необхідну яскравість свічення ЕПТ з метою отримання заданого відношення сигнал/шум на виході формувача відеосигналу.
3. Визначити граничну швидкість переміщення світної плями на екрані ЕПТ високої роздільної здатності в ТСМ.
4. Розробити метод дослідження динамічних МО з метою вимірювання параметрів їх руху та знаходження їх зображення в центральній частині екрана монітора при довільному русі в площині МО.
5. Дослідити можливість підвищення швидкодії роботи ТСМ при використанні діалогового режиму роботи ТСМ з ПК.
6. Розробити структурну схему ТСМ з широкими функціональними можливостями для використання його в кріомедицині.

**Об'єктом дослідження** є процес формування зображення ДО за допомогою ТСМ на базі ЕПТ високої роздільної здатності з УФ-свіченням екрана.

**Предметом дослідження** є методи покращення технічних параметрів ТСМ на базі ЕПТ високої роздільної здатності з УФ-свіченням екрана для визначення статичних та динамічних параметрів ДО.

**Методи дослідження.** При розв'язанні поставлених завдань у теоретичних дослідженнях використано основні положення і методи теорії радіотехнічних та телевізійних пристроїв та систем, теорії оптико-електронних приладів та систем, теорії похибок. Експериментальні дослідження проведено з використанням фізичних та математичних методів за допомогою числового аналізу та комп'ютерного моделювання, з використанням прикладних пакетів Mathcad та MATLAB.

**Наукова новизна отриманих результатів:**

- вперше розроблено метод визначення динамічних параметрів досліджуваного об'єкта при застосуванні сканувальних растрів різних розмірів (повноформатний растр, мінірастр), що дозволяє скоротити тривалість вимірювань внаслідок зменшення часу формування мінірастра і розширити діапазон вимірюваних параметрів досліджуваного об'єкта при збереженні точності вимірювання;

- вперше розроблено метод формування зображення рухомого досліджуваного об'єкта в центральній частині екрана монітора при довільному його русі в площині об'єкта;

- удосконалено метод визначення необхідної яскравості свічення електронно-променевої трубки з метою отримання заданого відношення сигнал/шум на виході формувача відеосигналу, який, на відміну від відомого методу, враховує шуми електронно-променевої трубки та параметри оптичного каналу;

- удосконалено метод визначення граничної швидкості переміщення світної плями на екрані електронно-променевої трубки високої роздільної здатності в телевізійному сканувальному мікроскопі, який, на відміну від відомого методу, враховує час післясвічення використовуваного люмінофора.

**Практичне значення отриманих результатів:**

- встановлено вимоги до електронно-променевої трубки з ультрафіолетовим свіченням екрана стосовно її спектра свічення, роздільної здатності, мінімально необхідної яскравості, допустимого шуму люмінофора;

- удосконалено метод сканування досліджуваного об'єкта растрами різних розмірів та різної роздільної здатності, що дозволить формувати фрагменти досліджуваного об'єкта у збільшеному масштабі без втрати роздільної здатності зображення;

- розроблено метод визначення граничної швидкості руху сканувального променя з урахуванням часу післясвічення використовуваної електронно-променевої трубки;

- розроблено метод компенсації шумів люмінофора через виділення світлового потоку від світного растра, формування електричного сигналу від цього потоку та ділення сигналів від досліджуваного об'єкта на сигнал від світного растра, що дозволяє покращити відношення сигнал/шум на виході формувача відеосигналу;

- розроблено структурну схему та алгоритм роботи телевізійного сканувального мікроскопа, придатного до використання в кріобіології та кріомедицині для спостереження за надшвидким охолодженням фрагмента досліджуваного об'єкта;

— розроблено структурну схему та алгоритм роботи телевізійного сканувального мікроскопа, придатного для вимірювання швидкості руху та прискорення досліджуваного об'єкта.

Результати дисертаційної роботи впроваджено в науково-дослідні роботи, виконані у Національному університеті “Львівська політехніка”; науково-дослідну роботу, виконану в Науково-дослідному та проектно-конструкторському інституті електронної вимірювальної та обчислювальної техніки НДКІ ЕЛВІТ (м. Львів); госпдоговірну роботу, виконану на замовлення ТОВ “МЕЛТА” (м. Київ); у навчальний процес у Національному університеті “Львівська політехніка” при підготовці спеціалістів напрямку “Радіотехніка”.

Усі результати реалізації підтверджено відповідними актами про впровадження та використання.

**Особистий внесок здобувача.** Основні теоретичні і практичні результати отримано автором самостійно. У роботах, які опубліковано у співавторстві, здобувачеві належать такі результати: у роботах [1, 9, 10, 17] проаналізовано можливість побудови ТСМ з використанням для освітлення досліджуваного об'єкта ЕПТ зі свіченням в УФ-діапазоні, в роботах [5, 7, 12, 13] досліджено вимоги до точності та стійкості перетворювачів струм-напруга, у роботах [3, 6, 8, 23-26] досліджено способи розширення функціональних можливостей ТСМ для його використання в біології та медицині, у роботах [2, 4, 10, 21, 22] встановлено вимоги до параметрів ТСМ, придатного для вимірювання динамічних параметрів рухомих об'єктів, у роботах [11, 14, 15] запропоновано методи побудови ТСМ з урахуванням особливості використання ЕПТ високої роздільної здатності.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення та результати дисертаційної роботи представлені та обговорені на 12 міжнародних науково-технічних конференціях та форумах: 1) VIII-а міжнародна НТК «Electronic and Telecommunications Conference of Students and Young Scientific Workers SECON'2007» (Варшава, 2007); 2) Міжнародні НТК «Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science TCSET» (Львів – Славське, 2008, 2010, 2012, 2014, 2016); 3) 3-тя міжнародна НТК молодих вчених «Computer Science & Engineering CSE'2009» (Львів, 2009); 4) XX-а міжнародна НТК «Електроніка та нанотехнології» (Київ, 2010); 5) IV-ий міжнародний радіоелектронний форум «Прикладна радіоелектроніка. Стан та перспективи розвитку МРФ'2011» (Харків, 2011); 6) VIII-а міжнародна НТК «Diagnostyka techniczna urządzeń i systemów DIAG'2013» (Устронь, 2013); 7) X-а міжнародна НТК «Metrologia Wspomagana Komputerowo MWK'2014» (Ваплево, 2014); 8) IEEE Міжнародна конференція з інформаційно-телекомунікаційних технологій та радіоелектроніки УкрМіКо'2016 (Київ).

**Публікації.** Основні положення та результати дисертаційної роботи опубліковано в 26 наукових працях, зокрема у 8 статтях, опублікованих у наукових виданнях, які внесені до списку фахових видань України та до міжнародних наукометричних баз даних, 4 патентах України на корисну модель, а також у 14 працях – матеріалах міжнародних науково-технічних конференцій, з яких 2 – одноосібні.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 114 найменувань та чотирьох додатків. Обсяг основної частини складає 178 сторінок, загальний обсяг роботи – 223 сторінки. Робота містить 5 таблиць і 79 рисунків.

### **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційного дослідження, сформульовано мету дослідження та науково-технічні завдання, необхідні для її досягнення, показано зв'язок дослідження з науковими програмами та темами, наведено наукову новизну отриманих результатів, їх практичну цінність та особистий внесок здобувача, надано інформацію про апробацію результатів роботи.

У **першому розділі** – «ТСМ для дослідження МО в біології та медицині» – проаналізовано переваги та недоліки ТСМ з освітленням досліджуваних мікроб'єктів ЕПТ надвисокої роздільної здатності. Проведено порівняльний аналіз ТСМ зі звичайними оптичними мікроскопами, камерними телевізійними мікроскопами, а також лазерними сканувальними мікроскопами. Серед основних переваг відзначено: зручність спостереження об'єкта на екрані телевізійного монітора; вищу просторову роздільну здатність; відсутність дифракційних контурних повторень на зображенні; точкове освітлення ДО (і тому менш загрозливе з точки зору руйнування об'єкта); можливість гнучкого вибору режиму освітлення об'єкта з метою зміни контрасту без використання комп'ютерної обробки; можливість зміни масштабу зображення без втрати роздільної здатності; можливість використання оптичного променя для вибіркового впливу на об'єкт. До недоліків віднесено: необхідність застосування високостабільних джерел керування і живлення сканувальної ЕПТ; відносно невелику інтенсивність сканувального оптичного променя; обмеження стосовно швидкості сканування, обумовлені післясвіченням люмінофора екрана; наявність відносно значного шуму порошкового екрана сканувальної ЕПТ. Зазначено необхідність розширити функціональні можливості ТСМ за рахунок використання зміни розмірів сканувального растра з метою масштабування зображення ДО без втрати роздільної здатності, внаслідок використання ЕПТ з освітленням ДО в ультрафіолетовому діапазоні, що дозволить досліджувати біологічні та медичні МО з використанням вторинної фотолюмінесценції. В багатьох випадках люмінесцентна мікроскопія дозволяє розрізняти живі та мертві (пошкоджені) мікробні клітини за кольором їх флуоресценції. Така точна і відносно проста методика може мати важливе, а інколи і вирішальне значення при експериментальних роботах у області вивчення змінності мікробів, дії на мікробну частину антибіотиків і дезінфікуючих речовин, ультрафіолетового світла. Показано, що найдоцільніше освітлювати ДО в діапазоні 320 – 400 нм (ближній ультрафіолет).

Досліджено спектр випромінювання ЕПТ з білим свіченням екрана. Встановлено, що в режимі сфокусованого променя спостерігається суттєве підвищення інтенсивності катодолюмінесценції. В результаті проведених експериментальних досліджень встановлено, що можна розробити ЕПТ,

придатну до використання в ультрафіолетовій мікроскопії. Розроблено вимоги до такої трубки стосовно її спектра свічення, роздільної здатності, мінімально необхідної яскравості, допустимого шуму люмінофора. Визначено вимоги до перетворювача світло-сигнал у ТСМ. Проаналізовано спектральні характеристики та чутливість ФЕП, придатних до використання в ТСМ.

У другому розділі – «Дослідження основних параметрів ТСМ» – проаналізовано шляхи забезпечення стійкості перетворювача напруга-струм (ПНС), який використовують для забезпечення високої точності формування растра. Запропоновано метод забезпечення стійкості ПНС внаслідок шунтування індуктивного навантаження резистором. На рис. 1, а амплітудно-частотну характеристику АЧХ підсилювача ПНС представлено у вигляді інерційної ланки з частотою зламу  $F_P$  та частотою одиничного підсилення  $F_T$ . Для індуктивного навантаження характерними є частота впливу комплексного навантаження  $F_{HL}$  та власна резонансна частота комплексного навантаження  $F_{HP}$ . Сумарна АЧХ перетинає вісь частот в точці  $F_{II}$  зі швидкістю, близькою до -40 дБ/дек (рис. 1, б). Сумарна фаза в точці  $F_{II}$  наближається до  $180^\circ$ , що свідчить про схильність системи до самозбудження. Застосування резистора шунтування індуктивного навантаження дозволяє змінити сумарну АЧХ таким чином, що вона перетинає вісь частот зі швидкістю, близькою до -20 дБ/дек (рис. 2, а), а фаза в критичній точці віддаляється від величини  $-180^\circ$  в сторону збільшення запасу стійкості за фазою  $\Phi_M$  (рис. 2, б).

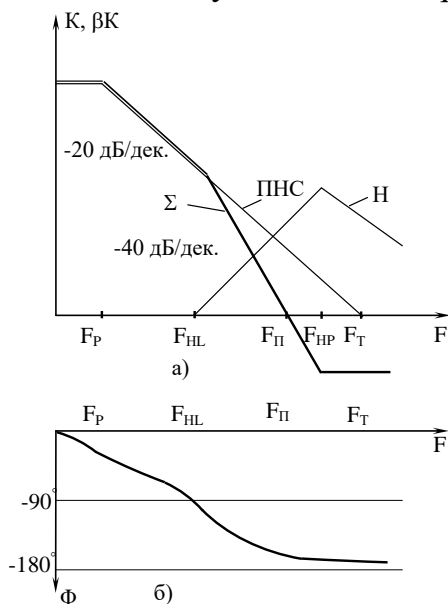


Рис. 1. АЧХ (а) і ФЧХ (б) ПНС з комплексним навантаженням

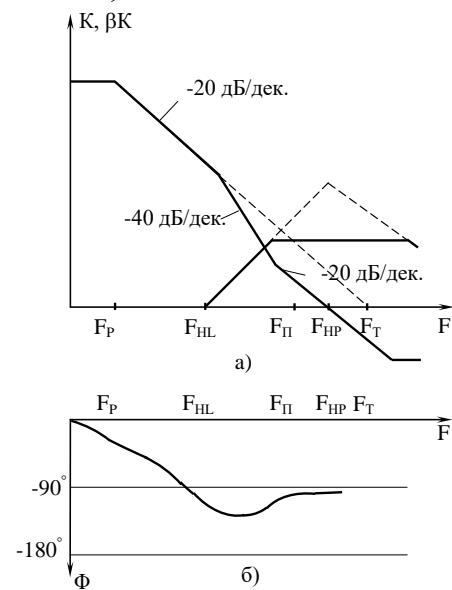


Рис. 2. АЧХ (а) і ФЧХ (б) ПНС з навантаженням та шунтуванням

Розроблено методику розрахунку опору резистора шунтування. Відповідно до цієї методики, для різних навантажень розраховано оптимальні значення опору резистора шунтування навантаження. Необхідно також відзначити, що надмірне шунтування може призвести до самозбудження ПНС (залежність б на рис. 4, а).



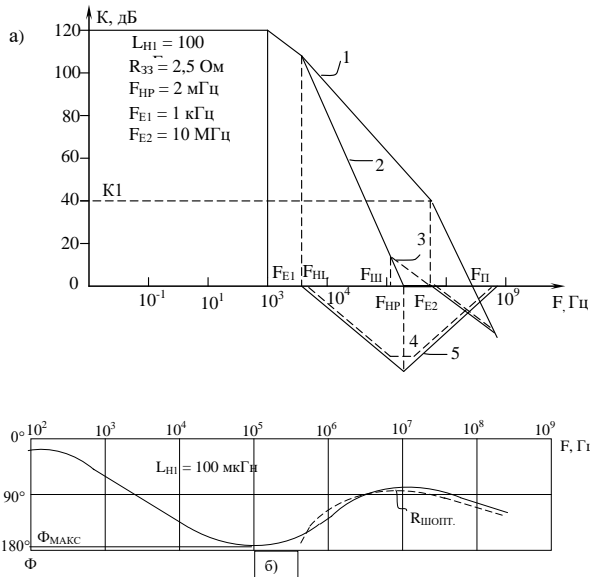


Рис. 3. АЧХ і ФЧХ ПНС при індуктивності навантаження  $L_{H1} = 100$  мкГн

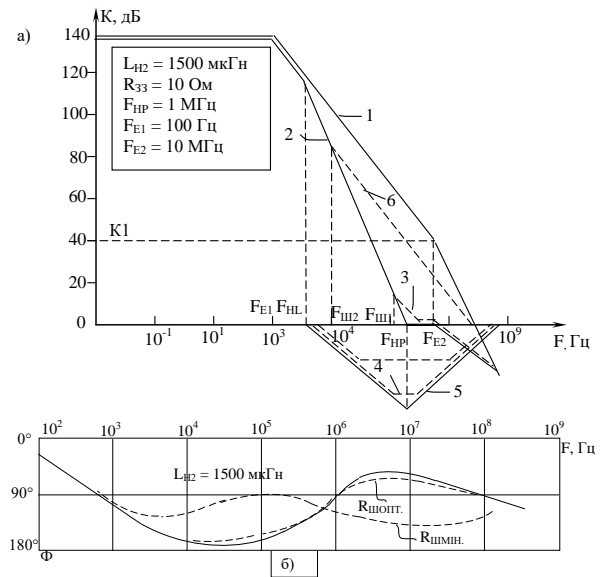


Рис. 4. АЧХ і ФЧХ ПНС при індуктивності навантаження  $L_{H2} = 1500$  мкГн

Запропоновано функціональну схему ПНС для аналізу часу встановлення струму (рис. 5). При поданні на вхід одиничного стрибка з амплітудою  $E_C$  напруга на резисторі формування сигналу ВЗЗ буде змінюватися за законом

$$U_{33}(t) = E_C [a(1 - e^{-\omega_1 t}) + b(1 - e^{-\omega_2 t})], \quad (1)$$

де  $\omega_1, \omega_2$  – частоти, які відповідають розташуванню полюсів АЧХ ПНС,

$$\omega_1, \omega_2 = (\omega_P / 2\omega_Z) \cdot [(\omega_T + \omega_Z \pm (\omega_T - \omega_Z) \cdot \sqrt{1 + 4(1 - \omega_Z / \omega_P)\omega_T \cdot \omega_Z / (\omega_T - \omega_Z)^2})]. \quad (2)$$

Додаткові коефіцієнти  $a$  та  $b$  визначаються відповідно до виразів

$$a = (K_1 - K) / (K_1 - 1); \quad b = 1 - a, \quad (3)$$

де  $K_1$  – коефіцієнт підсилення на частоті дублету,  $K$  – коефіцієнт відносного розділення дублету,  $K = \omega_P / \omega_Z$ .

Встановлено, що для забезпечення стійкої роботи ПНС необхідно, щоб частоти, які відповідають розташуванню полюсів АЧХ відповідали умові:

$$1 + 4(1 - \omega_Z / \omega_P) \cdot \omega_T \cdot \omega_Z / (\omega_T - \omega_Z) \geq 0. \quad (4)$$

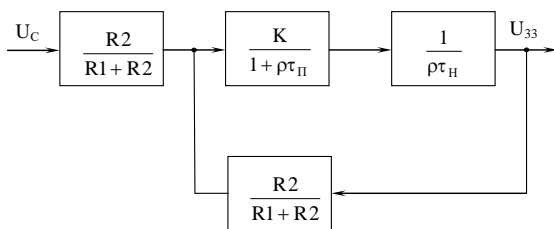


Рис. 5. Функціональна схема ПНС для аналізу часу встановлення струму

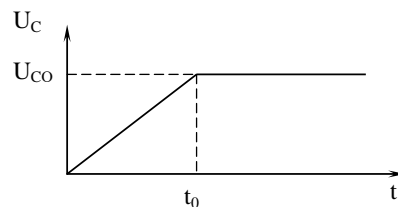


Рис. 6. Форма вхідного імпульсу для аналізу часу встановлення

На практиці виконується умова  $\omega_T \gg \omega_Z \gg \omega_P$ , тому для забезпечення стійкої роботи необхідно, щоб частота зламу АЧХ  $\omega_Z$  відповідала виразові  $\omega_Z < 0,5\sqrt{\omega_T \omega_P}$ . Оптимальне значення величини резистора  $R_{III}$  буде:

$$R_{III} \leq \rho \cdot F_{III} / F_{KP}, \quad (5)$$

де  $\rho = \sqrt{L_H / C_H}$  – характеристичний опір індуктивного навантаження,  $F_{III}$  – частота, яка визначається перетином АЧХ підсилювача з віссю. Визначено реакцію ПНС, якщо на його вхід подати імпульс згідно рис. 6.

Досліджено пасивний та активний режим роботи ТСМ. Суть пасивного режиму роботи ТСМ полягає в тому, що код наступної координати елемента освітлювального растра видається через час, який перевищує суму тривалості перехідного процесу встановлення струму в навантаженні при його максимальній зміні та тривалості імпульсу підсвічування. Суть активного режиму роботи ТСМ полягає в тому, що код наступної координати елемента освітлювального растра видається через час, який визначається тривалістю перехідного процесу встановлення, після чого надходить імпульс готовності, який формується після закінчення імпульсу підсвічування.

Запропоновано дві структурні схеми ПНС, які в активному режимі роботи ТСМ формують імпульси, тривалість яких дорівнює тривалості перехідного процесу встановлення струму в індуктивному навантаженні. На рис. 7 наведено структурну схему формувача імпульсів перехідного процесу, до складу якої входять: два компаратори К1 та К2, два джерела опорної наруги ДОН1 і ДОН2 та логічна схема АБО. На виході схеми АБО формується імпульс перехідного процесу нормованої амплітуди незалежно від полярності зміни струму в навантаженні.

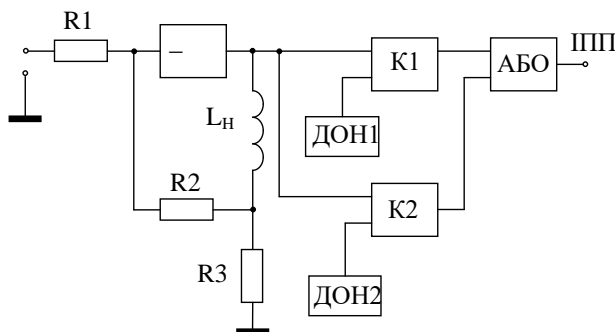


Рис. 7. Структурна схема формувача імпульсів перехідного процесу при підімкненні компараторів до виходу ПНС

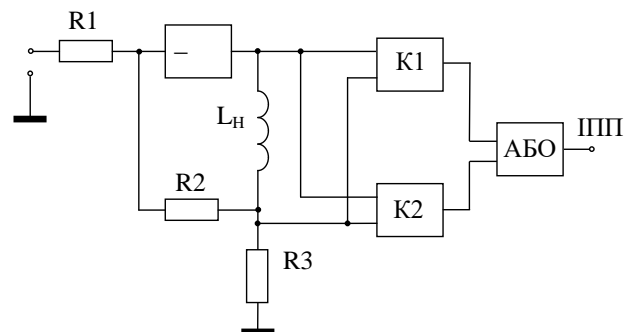


Рис. 8. Структурна схема формувача імпульсів перехідного процесу при підімкненні компараторів до навантаження

На рис. 8 наведено структурну схему формувача імпульсів перехідного процесу, яка складається з двох компараторів К1 та К2 та логічної схеми АБО. Поріг спрацьовування компараторів у першому випадку перевищує спад наруги на активному опорі індуктивного навантаження при протіканні по ньому струму максимального значення. Поріг спрацьовування компараторів у другому випадку повинен бути значно меншим, оскільки спад наруги на активному опорі індуктивного навантаження (1–2 В) є значно меншим максимального сигналу від'ємного зворотного зв'язку (5–10 В).

Розглянуто, як при скануванні рядка змінюється яскравість (нормована до свого максимального значення) будь-якої точки екрана, що лежить на осі цього

рядка (рис. 9). Отримано вираз для закону розподілу яскравості в центральному січенні світної плями з урахуванням інерційності люмінофора:

$$B'(r) = \begin{cases} \left[ \int_0^r B(r) \cdot \frac{\exp(u/(\tau \cdot V))}{\tau \cdot V} du + B(0) \right] \cdot \exp(r/(\tau \cdot V)), & r \leq 0 \\ B(r), & r > 0 \end{cases} \quad (6)$$

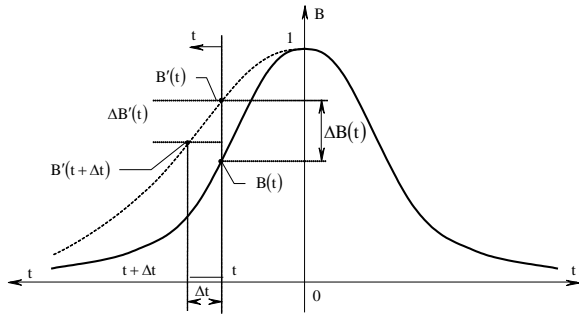


Рис. 9. До визначення закону розподілу яскравості в світній плямі з урахуванням післясвічення люмінофора

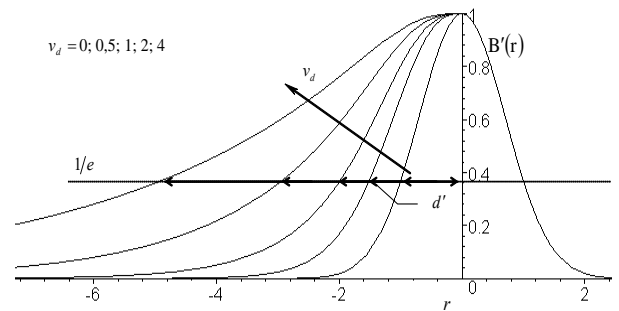


Рис. 10. Розподіл яскравості в рухомій світній плямі, розрахований з урахуванням інерційності згасання люмінофора

Отримано вираз для розподілу яскравості в рухомій світній плямі:

$$B'(r) = \begin{cases} \left( 1 + \frac{\sqrt{\pi}}{2 \cdot V_d} \cdot \exp\left(\left(\frac{1}{2 \cdot V_d}\right)^2\right) \cdot \left( \operatorname{Erf}\left(r - \frac{1}{2 \cdot V_d}\right) + \operatorname{Erf}\left(\frac{1}{2 \cdot V_d}\right) \right) \right) \cdot \exp\left(-\frac{r}{V_d}\right), & r \leq 0 \\ 1/\exp(-r^2), & r > 0, \end{cases} \quad (7)$$

де  $\operatorname{Erf}(x) = (2/\sqrt{\pi}) \cdot \int_0^x \exp(-t^2) dt$  – функція помилок;  $r$  – віддаль від центру

плями, нормована до півширини статичної плями;  $V_d = \tau \cdot V/d$  – відносна швидкість сканування, виражена в півширинах статичної плями, пройдених рухомою прямою за час  $\tau$ .

Розрахований за (7) розподіл яскравості в рухомій світній плямі для низки значень  $V_d$  наведено на рис. 10. Як видно з рисунка, зміни закону розподілу є незначними для  $V_d < 0,5$ . На основі отриманих співвідношень визначено вплив інерційності загасання люмінофора та швидкості сканування на роздільну здатність ТСМ. При відомих параметрах ЕПТ (діаметр статичної плями на екрані 20 мкм; стала часу післясвічення люмінофора 50 нс; максимальний розмір раstra на екрані – 50×50 мм; тривалість прямого ходу рядкової розгортки (ТВ-розклад) – 54 мкс) одержано відносну швидкість сканування  $V_d = 4,62$ . З рис. 10 видно, що такий швидкості сканування відповідає приблизно трикратне збільшення апертури плями.

В третьому розділі – «Розроблення методів покращення технічних параметрів ТСМ» – розроблено методи покращення технічних параметрів ТСМ. Структурна схема ТСМ з точки зору формування відеосигналу наведена

на рис. 11. До її складу входять: сканувальна ЕПТ, два оптичних канали ОК1 та ОК2, фотоелектронний помножувач ФЕП та формувач відеосигналу ФС.

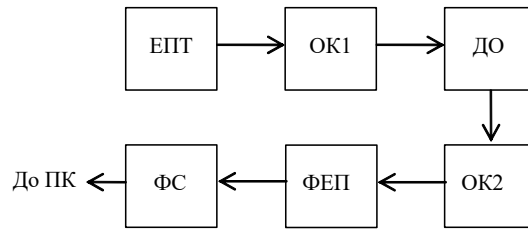


Рис. 11. Структурна схема ТСМ з точки зору формування відеосигналу

Визначено мінімальну величину яскравості свічення елемента сканувальної ЕПТ  $V_{ЕПТ}$ , необхідну для забезпечення заданого відношення сигнал-шум на вході формувача сигналу:

$$V_{ЕПТ} = \frac{\Psi_{ВХФС} \cdot L_{ОК1}^2 \cdot L_{ОК2}^2}{\varepsilon \cdot P_{ОК1} \cdot P_{ОК2} \cdot S_{ОК1} \cdot S_{ОК2} \cdot S_{ЕПТ}} \sqrt{\frac{4k \cdot T \cdot \Delta F}{R_H}} \quad (8)$$

де  $\Psi_{ВХФС}$  – відношення сигнал/шум на виході ФЕП;  $L_{ОК1}$  – віддаль від площини екрана ЕПТ до мікроскопного об'єктива;  $L_{ОК2}$  – віддаль від досліджуваного об'єкта до конденсорної лінзи;  $\varepsilon$  – анодна чутливість ФЕП;  $P_{ОК1}$  – коефіцієнт оптичного пропускання мікроскопного об'єктива;  $P_{ОК2}$  – коефіцієнт пропускання конденсорної лінзи в оптичному каналі;  $S_{ОК1}$  – площа входньої зіниці мікроскопного об'єктива;  $S_{ОК2}$  – площа входньої зіниці конденсорної лінзи;  $S_{ЕПТ}$  – площа сканувального елемента;  $R_H$  – опір навантаження фотоелектронного помножувача;  $k$  – постійна Больцмана;  $T$  – температура, К;  $\Delta F$  – смуга пропускання відеосигналу.

Якщо, наприклад, орієнтуватись на використання фотоелектронного помножувача типу R3896 виробництва японської фірми НАМАМАТСУ, у якого анодна чутливість  $\varepsilon = 500$  А/лм, то мінімально необхідна яскравість свічення сканувальної ЕПТ при  $\Psi = 30$ ;  $\Psi_{ВХФС} = 1,2$ ;  $L_{ОК1} = 0,5$  м;  $L_{ОК2} = 0,01$  м;  $P_{ОК1} = 0,8$ ;  $P_{ОК2} = 0,8$ ;  $S_{ОК1} = 2 \times 10^{-5}$  м<sup>2</sup>;  $S_{ОК2} = 8 \times 10^{-5}$  м<sup>2</sup>;  $S_{ЕПТ} = 1 \times 10^{-10}$  м<sup>2</sup>;  $\Delta F = 6,5$  МГц;  $k = 1,37 \cdot 10^{-23}$  Дж/град;  $T = 290$  К;  $R_{НФЕП} = 100$  кОм складатиме 18000 кд/м<sup>2</sup>. Спеціальні сканувальні проєкційні ЕПТ, зазвичай, забезпечують таку яскравість. Однак, такі ЕПТ, які можна використати в сканувальному мікроскопі, наприклад, У4ТПІИ, мають меншу яскравість свічення. Тому для забезпечення необхідної якості формованого зображення МО, необхідно зменшувати швидкість сканування і збільшувати опір навантаження ФЕП.

Запропоновану структурну схему ТСМ з масштабуванням зображення ДО при збереженні роздільної здатності формованого зображення, яка розширює його функціональні можливості, наведено на рис. 12.

До її складу входять: тактовий генератор ТГ, подільник частоти ДЧ1, телевізійний синхрогенератор ТСГ, генератори формування сигналу розгортки в телевізійному режимі ГРХ та ГРҮ, п'ять комутаторів К1, К2, К3, К4, К5, дешифратор частоти розгортки ДЧР, дешифратор кроку розгортки ДКР, регістри коду сигналу зміщення РЗХ та РЗҮ, цифро-аналогові перетворювачі сигналу зміщення ЦАПЗХ та ЦАПЗҮ, аналогові регулятори зміщення АРЗХ та АРЗҮ, регістри коду початку розгортки РПХ та РПҮ, регістри коду кінця розгортки РКХ та РКҮ, лічильники кодів місцеположень світної плями ЛХ та ЛҮ, цифро-аналогові перетворювачі формування дискретного сигналу

розгортки ЦАПХ та ЦАПУ, реєстр коду регулювання амплітуди сигналу відхилення РРА, цифро-аналоговий перетворювач сигналу регулювання амплітуди сигналу розгортки ЦАПРА, блок аналогового регулювання амплітуди БРА, регулятори амплітуди сигналу відхилення РАХ та РАУ, узгоджувальні підсилювачі УПХ та УПУ. Запропонований ТСМ працює як в телевізійному стандарті, так і в дискретному режимі формування сканувального растра та неповноформатного растра при масштабуванні зображення ДО.

**В четвертому розділі – «Практична реалізація ТСМ»** – розроблено вимоги до алгоритмічно-програмного забезпечення створення псевдокольорових зображень біологічних МО при скануванні в ультрафіолетовому діапазоні для мікроскопів з максимальними функціональними можливостями. У цьому випадку ТСМ повинен мати максимально можливі функціональні можливості з метою проведення складних спеціалізованих досліджень.

Структурна схема алгоритмічно-програмного забезпечення ТСМ у режимі формування псевдокольорового зображення наведена на рис. 13. Вона враховує зміну застосовуваних оптичних фільтрів у оптичному каналі, а також квантування відеосигналу за рівнями, кожному з яких відповідає певний колір.

У структурній схемі використані такі позначення: КРЯ – код регулювання яскравості свічення ЕПТ; КМО – код вибору мікроскопного об'єктива; КФ – код вибору оптичного фільтра; КЖФЕП – код напруги живлення ФЕП; КРП – код регулювання рівня підсилення.

Наявність структурних шумів екрана ЕПТ призводить до появи похибок при формуванні відеосигналу на виході ФЕП. Ці шуми мають суттєвий вплив для визначення питомої густини зображення (робота ТСМ на просвічування). До складу наведеної загальної структурної схеми (рис. 14) входять: блок сканувальної електронно-променевої трубки БСЕПТ, об'єктив О, напівпрозоре дзеркало НДз, дзеркало Дз, досліджуваний об'єкт ДО, конденсори К1 та К2, два фотоелектронних помножувачі ФЕП1 та ФЕП2, підсилювач П, детектор Д, фільтр Ф, підсилювач з регульованим коефіцієнтом підсилення ПРП, два логарифмічних підсилювачі ЛП1 та ЛП2, суматор С, антилогарифмічний підсилювач АЛП. Якщо отримані сигнали з виходів підсилювача П та підсилювача з регульованим коефіцієнтом підсилення ПРП прологарифмувати, знайти різницю логарифмів на виході суматора С та антилогарифмувати, то на виході антилогарифмічного підсилювача АЛП отримаємо сигнал, пропорційний до коефіцієнта пропускання або коефіцієнта відбивання досліджуваного об'єкта ДО без шумів люмінофора ЕПТ, що застосовується.

Розроблено структурну схему ТСМ, який утримує зображення динамічного МО в центральній зоні монітора (рис. 15). До складу структурної схеми ТСМ входять: проекційна електронно-променева трубка ПЕПТ, об'єктив О, досліджуваний об'єкт ДО, відеопідсилювачі ВП1 та ВП2, фотоелектронний помножувач ФЕП, тактовий генератор ТГ, формувач імпульсів гасіння ФІГ, формувачі сигналу розгортки ФСРХ та ФСРУ, перетворювачі напруга-струм ПНСХ та ПНСУ, котушки відхилення КВХ та КВУ, компаратор К, блок визначення координат БВК, блок пам'яті БП, блоки порівняння координат БПКХ та БПКУ, блок визначення центра мінірастра БВЦ, блок початку сканування БПС та блок формування мінірастра БФМ.

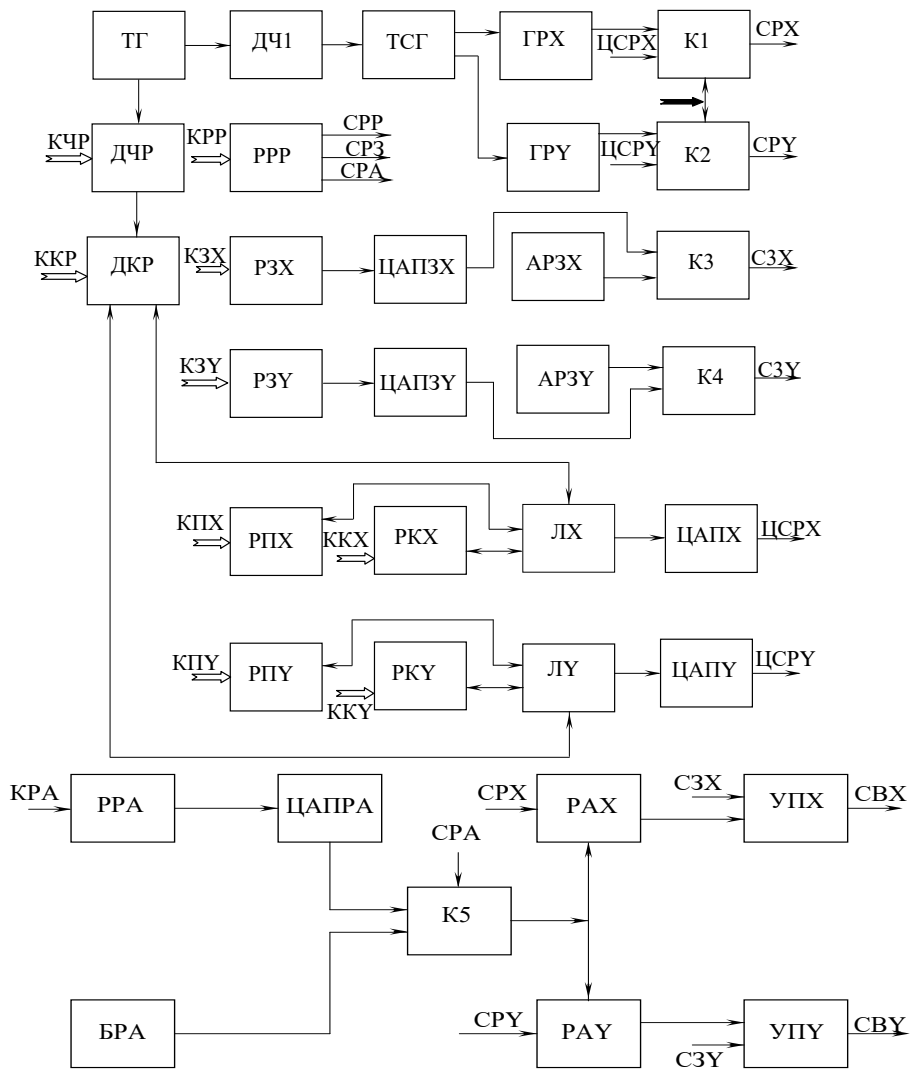


Рис. 12. Структурна схема методу формування сканувального растра з широкими функціональними можливостями

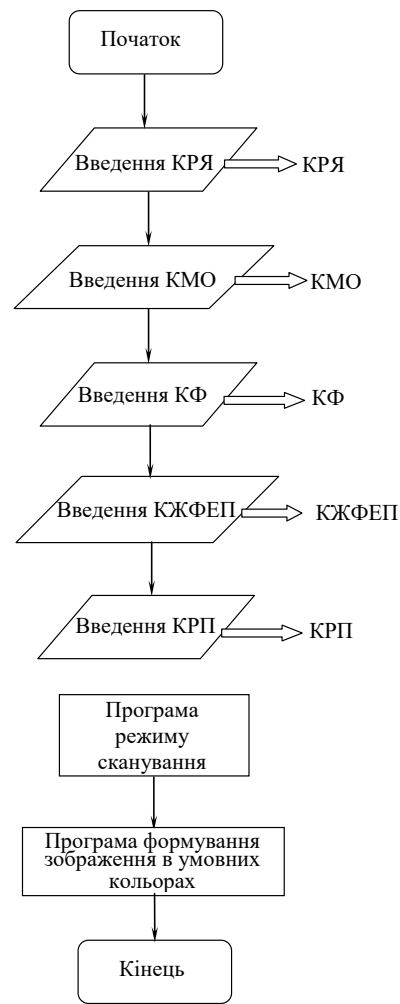


Рис. 13. Структурна схема алгоритмічно-програмного забезпечення ТСМ

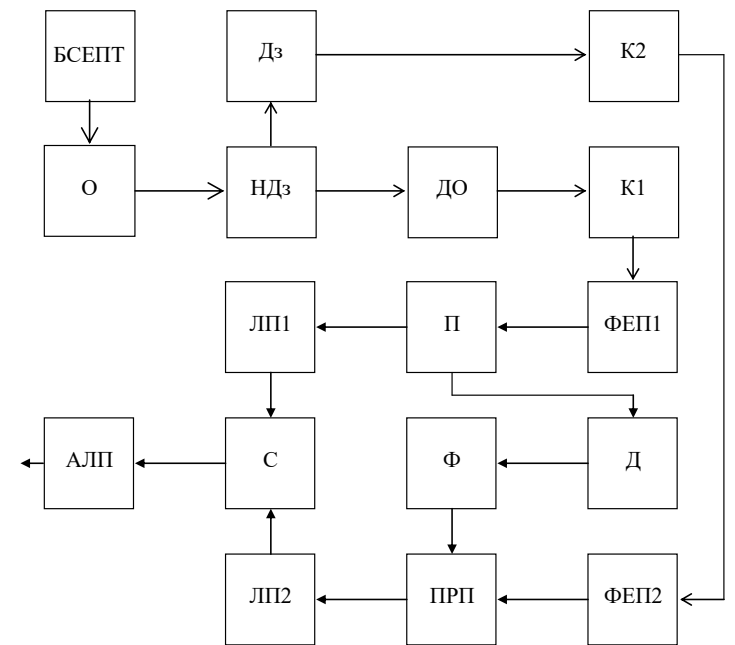


Рис. 14. ТСМ для дослідження МО з малим контрастом зображення

Принцип роботи ТСМ такий. Розмір мінірастра є значно меншим розміру повноформатного растра ( $\leq 10\%$  від розміру повноформатного растра). Центр першого формованого мінірастра співпадає з центром ДО при першому повноформатному скануванні, а центр кожного наступного мінірастра співпадає з центром ДО при його попередньому скануванні. Тоді, ТСМ з одного боку підтримує зображення збільшеного фрагмента ДО в центральній зоні монітора, а з іншого – обмежує спостереження ДО моментом, коли ДО досягає краю повноформатного растра.

Розроблено структурну схему ТСМ, який можна використати для визначення прискорення руху різних ДО, які рухаються нерівномірно та за довільною траєкторією. ТСМ забезпечує вимірювання координат їх двох послідовних у часі положень у полі зору мікроскопа (відповідно до тривалості формування двох кадрів сканування) з метою визначення швидкості руху цих МО та наступного визначення прискорення їх руху (за наявності двох послідовних у часі значень швидкості руху МО).

Розроблено структурну схему ТСМ, який можна використати для дослідження МО в процесі їх надшвидкого охолодження в галузях кріомедицини та кріобіології (рис. 16). До структурної схеми ТСМ входять: блок керування режимами роботи БКРР, блок формування сканувального растра БФСР, блок сканувальної електронно-променевої трубки БЕПТ, блок оптичного каналу БОК, блок досліджуваного об'єкта БДО, блок фотоелектронного помножувача БФЕП, блок формування відеосигналу БФВС, блок оброблення відеосигналу БОВС, телевізійний монітор ТМ, блок керування лазером БКЛ, блок лазера БЛ, блок керування охолодженням БКО, блок охолодження БО, блок порівняння БП.

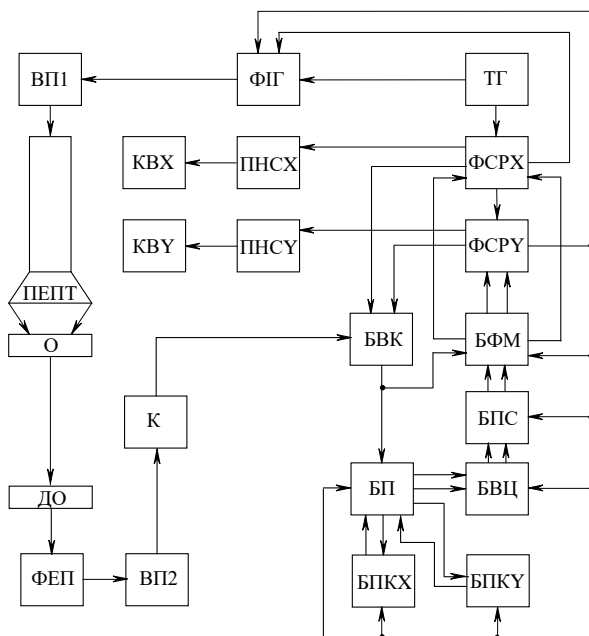


Рис. 15. ТСМ для відстеження положення центра динамічного МО

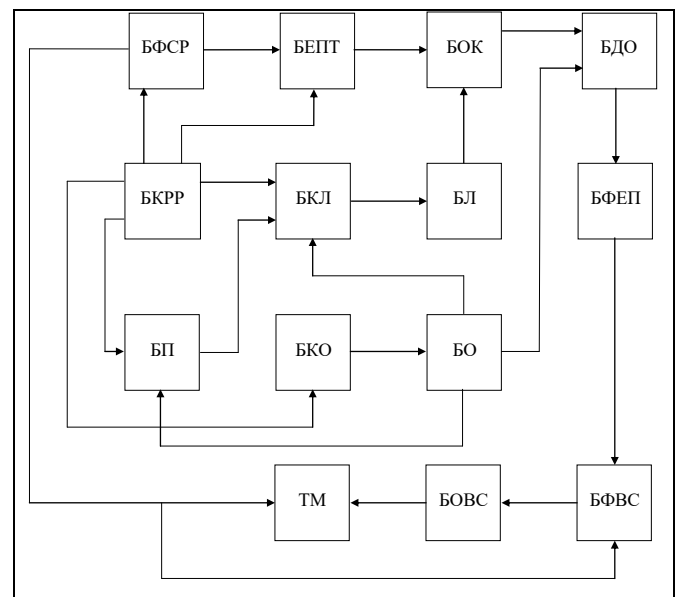


Рис. 16. ТСМ для дослідження МО в процесі їх надшвидкого охолодження

На екрані телевізійного монітора ТМ формується зображення досліджуваного об'єкта ДО в процесі його охолодження. Режим роботи блока

керування лазером БКЛ вибирають так, щоб потужність його випромінювання забезпечувала температуру вибраного фрагмента рівною початковій температурі охолодження всього МО незалежно від температури його подальшого охолодження. Після досягнення блоком охолодження БО заданої температури лазер вимикається. Як результат, температура фрагмента ДО різко знижується. Процес надшвидкого охолодження фрагмента досліджуваного об'єкта ДО можна спостерігати на екрані телевізійного монітора ТМ.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язано актуальне наукове завдання, яке полягає у покращенні технічних параметрів телевізійного сканувального мікроскопа, що дозволяє поліпшити якість формованого зображення досліджуваного об'єкта, збільшити швидкодію формування його зображення та розширити функціональні можливості мікроскопа внаслідок використання в ньому для освітлення досліджуваного об'єкта в ультрафіолетовому діапазоні спеціалізованої електронно-променевої трубки високої роздільної здатності.

Основні наукові і практичні результати дисертаційної роботи:

1. Сканувальний телевізійний мікроскоп на базі електронно-променевої трубки високої роздільної здатності з ультрафіолетовим світінням екрана дозволить проводити дослідження біологічних об'єктів у реальному масштабі часу при дуже малій потужності опромінювання, що відкриває широкі перспективи його використання порівняно з лазерними мікроскопами, які мають значну потужність опромінювання об'єкта, і електронними, які дозволяють проводити дослідження лише після попередньої обробки та у вакуумі, що унеможливує їх застосування при дослідженні живих об'єктів. Встановлено, що доцільнішим є освітлення досліджуваних об'єктів у діапазоні довжин хвиль 320 – 400 нм. Найбільш доцільним слід вважати використання такого сканувального мікроскопа, який може одночасно забезпечити реалізацію двох режимів роботи: телевізійного та малокадрового з малим або змінним кроком сканування.

2. Досліджено граничну швидкість переміщення сканувального елемента з точки зору збільшення його розмірів. Встановлено, що при використанні розгортки із збільшеною до 160 Гц частотою полів, швидкість сканування зростає більше, ніж у 3 рази, а апертура сканувальної плями тоді збільшиться в 2,5 рази, порівняно з апертурою при телевізійному розкладі. Для запобігання цьому сканувати необхідно в телевізійному чи малокадровому режимі, а для забезпечення потрібної частоти оновлення зображення на моніторі – застосовувати перетворювач параметрів розкладу зображення. Встановлено, що тривалість післясвітіння люмінофора використовуваної трубки не повинна перевищувати 30 нс при максимальній швидкості сканування.

3. Визначено глибину різкості зображення досліджуваного мікрооб'єкта в телевізійному сканувальному мікроскопі. Досліджено вплив неточності наведення на різкість об'єктива на розфокусування зображення. Наведено графіки залежності необхідного діаметра сканувального елемента від коефіцієнта зміни розміру растра при різних коефіцієнтах збільшення



мікроскопа. Розглянуто вплив неточності наведення об'єктива на різкість на розфокусування елемента досліджуваного об'єкта на екрані монітора. Показано, що з використанням ЕПТ типу 4ЛК7Т максимальний коефіцієнт зміни розміру растра можна отримати при зменшенні розміру растра в 4 рази без втрат різкості зображення.

4. Запропоновано покращити відношення сигнал/шум за рахунок використання усереднення дробового шуму при сумуванні сигналів від багатьох ФЕП, кожен з яких перетворює в сигнал свою частку світлового потоку, що несе інформацію про об'єкт. Проведено порівняльний аналіз застосування фотоелектронного помножувача та вакуумного фотоелемента з застосуванням підсилювача. Показано, що для сигналу зі 100-відсотковою модуляцією за допомогою фотоелектронного помножувача можна виявити сигнал в 1600 раз слабший, ніж за допомогою вакуумного фотоелемента з використанням підсилювача.

5. Розроблено структурну схему сканувального телевізійного мікроскопа, який забезпечує метод масштабування зображення досліджуваного об'єкта при збереженні роздільної здатності формованого зображення. Масштабування зображення здійснюється зміною розмірів сканувального растра цифровим або аналоговим способом. При застосування сканувальної електронно-променевої трубки з роздільною здатністю формованого растра 4000×4000 елементів на екрані телевізійного монітора з роздільною здатністю 575 елементів можна отримати збільшення зображення фрагмента досліджуваного об'єкта у 7 разів без погіршення якості зображення.

6. Розроблено структурні схеми сканувального телевізійного оптичного мікроскопа, які забезпечують:

- відслідковування положення центра динамічного мікрооб'єкта, що забезпечує утримання зображення мікрооб'єкта в центральній частині екрана монітора (патент України № 75990);

- визначення прискорення руху динамічних мікрооб'єктів, які рухаються нерівномірно та з довільною траєкторією руху (патент України № 75989);

- розширення функціональних можливостей його роботи за рахунок дослідження мікрооб'єктів у процесі їх надшвидкого охолодження в галузях кріомедицини та кріобіології. В основу роботи мікроскопа покладено принцип локального підігріву фрагмента досліджуваного об'єкта за допомогою керованого лазера з керованим охолодженням всього об'єкта та різким виключенням підігріву, що забезпечує можливість спостереження надшвидкого охолодження фрагмента досліджуваного об'єкта (патент України № 103133);

- дослідження біологічних та медичних мікрооб'єктів з малим контрастом, який дозволяє суттєво покращити відношення сигнал/шум вихідного сигналу за рахунок зменшення впливу шумів люмінофора (патент України № 103134).

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

*Наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації:*

1. Баланюк Ю. Сканувальний телевізійний оптичний ультрафіолетовий мікроскоп для дослідження біологічних мікрооб'єктів / Юрій Баланюк,

Анатолій Педан, Володимир Шклярський // Вісн. Нац. ун-ту “Львів. політехніка”. Серія: Радіоелектроніка та телекомунікації : зб. наук. праць. – 2009. – № 645. – С. 243–252.

2. Баланюк Ю. Особливості визначення прискорення руху різних динамічних мікрооб’єктів телевізійним сканувальним оптичним мікроскопом / Юрій Баланюк, Юрій Матієшин, Володимир Василюк // Вісн. Нац. ун-ту “Львів. політехніка”. Серія: Радіоелектроніка та телекомунікації : зб. наук. праць. – 2012. – № 738. – С. 245–253.

3. Balanyuk Y. Scanning television optical microscope for diagnostics of microobjects in medicine / Y. Balanyuk, Y. Matiieshyn, I. Prudyus, V. Shkliarskyi, A. Pedan, V. Vasylyuk // Diagnostyka (Діагностика). – 2013. – Vol. 14, № 3. – P. 41–44.

4. Баланюк Ю. Точність визначення параметрів двох динамічних мікрооб’єктів за допомогою телевізійного сканувального оптичного мікроскопа / Юрій Баланюк, Юрій Матієшин, Володимир Шклярський, Борис Гудзь // Вісн. Нац. ун-ту “Львів. політехніка”. Серія: Радіоелектроніка та телекомунікації : зб. наук. праць. – 2013. – № 766. – С. 58–64.

5. Баланюк Ю. Забезпечення стійкості перетворювачів напруга-струм з комплексним навантаженням / Юрій Баланюк, Володимир Василюк, Володимир Шклярський // Вісн. Нац. ун-ту “Львів. політехніка”. Серія: Радіоелектроніка та телекомунікації : зб. наук. праць. – 2014. – № 796. – С. 43–48.

6. Balanyuk Y. Interactive Operation of Scanning Television Optical Microscope / Y. Balanyuk, V. Shkliarskyi, V. Vasylyuk, B. Hudz // Computational Problems of Electrical Engineering. – Lviv Polytechnic National University. – 2014. – Vol. 4, № 2. – P. 69–76.

7. Balanyuk Y. Error analysis of current formed by precision voltage-current converter loaded by inductance / Y. Balanyuk, V. Vasylyuk, V. Shkliarskyi // Measurement Automation Monitoring (MAM). – 2015. – Vol. 61, № 8. – P. 403–405.

8. Баланюк Ю. Розширення функціональних можливостей телевізійного сканувального оптичного мікроскопа при дослідженні мікрооб’єктів / Юрій Баланюк, Володимир Шклярський, Юрій Матієшин, Роман Янкевич // Вісн. Нац. ун-ту “Львів. політехніка”. Серія: Радіоелектроніка та телекомунікації : зб. наук. праць. – 2016. – № 849. – С. 91–98.

*Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:*

9. Balanjuk Yu. Uv illumination scanning optical microscope / Yu. Balanjuk // Electronic and Telecommunications Conference of Students and Young Scientific Workers SECON-2007: proceed. of the VIII intern. conf., 7 – 8 November 2007, Warsaw, Poland. – Warsaw, 2007. – P. 10.

10. Balanjuk Yuriy. Scanning optical microscope on base CRT with a ultraviolet luminescence of the screen / Yuriy Balanjuk, Anatoliy Pedan, Ivan Prudyus, Volodimir Shkljarskyi // Modern Problem of Radio Engineering Telecommunications and Computers Science: proceedings of the International Conference TCST’2008, February 19 – 23 2008, Lviv-Slavske, Ukraine / Lviv Polytechnic National University. – Lviv-Slavske, 2008. – P. 246–247.

11. Баланюк Ю. Сканувальна мікроскопія / Ю. Баланюк // Computer Science & Engineering CSE-2009: proceed. 3-rd Int. Conf. of young scientists, 14 –16 May 2009 Lviv, Ukraine. – Lviv, 2009. – P. 289–292.

12. Balanjuk Y. V. Correcting of Non-uniformity of Brightness of the Image in a Scanning Microscope / Y. V. Balanjuk, V. M. Goj, G. O. Turkinov, V. I. Shkliarskyi // Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science TCSET'2010 : proceedings of X Int. Conf., 23-27 February 2010, Lviv-Slavske, Ukraine / Lviv Polytechnic National University. – Lviv-Slavske, 2010. – P. 102.

13. Balanjuk Y. V. Correcting of Non-uniformity of Brightness of the Image in a Scanning Microscope [Electronic source] /Y. V. Balanjuk, V. M. Goj, G. O. Turkinov, V.I. Shkliarskyi // Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science TCSET'2010 : results of the X-th International Conference, 23-27 February 2010, Lviv-Slavske, Ukraine, 2010. – Electron. dat. (32 Mb). – Lviv : NU“LP”, 2010. – 1 electron. opt. disc (CD-ROM). – Title from the disc label.

14. Balanjuk Y. V. Scanning Television Optical Microscope for Research of Biological Microobjects / Y. V. Balanjuk, Y. M. Matiieshyn, V. I. Shkliarskyi, B. I. Lubinecka, A. D. Pedan, I. N. Prudyus, G. O. Turkinov // Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science TCSET'2010: proceedings of X Int. Conf., 23-27 February 2010, Lviv-Slavske, Ukraine / Lviv Polytechnic National University. – Lviv-Slavske, 2010. – P. 18.

15. Scanning Television Optical Microscope for Research of Biological Microobjects [Electronic source] / Y. V. Balanjuk, Y. M. Matiieshyn, V. I. Shkliarskyi, B. I. Lubinecka, A. D. Pedan, I. N. Prudyus, G. O. Turkinov // Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science TCSET'2010 : results of the X-th International Conference, 23-27 February 2010, Lviv-Slavske Ukraine, 2010. – Electron. dat. (32 Mb). – Lviv : NU“LP”, 2010. – 1 electron. opt. disk (CD-ROM).

16. Баланюк Ю. В. Сканувальний телевізійний оптичний мікроскоп високої роздільної здатності / Ю. В. Баланюк [та ін.] // Прикладна радіоелектроніка. Стан та перспективи розвитку МРФ-2011: матеріали IV міжнар. радіоелектр. форуму, 18–21 жовтня 2011 р., Харків, Україна / Харківський національний університет радіоелектроніки. – Харків, 2011. – С. 16–19.

17. Balanjuk Y. V. Scanning Television Optical Microscope With Illumination of Microobject in a Ultra-Violet Range / Y. V. Balanjuk, Y. M. Matiieshyn, A. D. Pedan // Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science TCSET'2012 : proceedings of XI Int. Conf., 21-24 February 2012, Lviv-Slavske Ukraine / Lviv Polytechnic National University. – Lviv-Slavske, 2012. – P. 113.

18. Balanyuk Y. Scanning television optical microscope for diagnostics of microobjects in medicine / Y. Balanyuk, I. Prudyus, V. Shkliarskyi, Y. Matiieshyn, A. Pedan, V. Vasylyuk // Diagnostyka techniczna urządzeń i systemów DIAG'2013 : materiały VIII Krajowa Konf., 3-7 June 2013, Ustroń, Poland / Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, Instytut Systemów Elektronicznych. – Ustroń, 2013. – P. 89.

19. Balanjuk Y. V. Methods of Correction of Distortions Luminous Raster Cathode Ray Tube / Y. V. Balanjuk, V. I. Shkliarskyi, B. I. Lubinecka, T. Smarkutskyi // Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science TCSET'2014 : proceedings of XII Int. Conf., 25 February – 1 March 2014, Lviv-Slavske, Ukraine / Lviv Polytechnic National University. – Lviv-Slavske, – 2014. – P. 293–295.

20. Balanjuk Y. Definition of formation of errors current in inductive load precision voltage converter-current / Y. Balanyuk, V. Shkliarskyi, V. Vasylyuk // Metrologia Wspomagana Komputerowo MWK'2014 : Streszczenia referatów X Szkoła-Konf., 27-30 Maja 2014, Waplewo, Polska / Wydział Elektroniki Wojskowej Akademii Technicznej, Wojskowe Centrum Metrologii Ministerstwa Obrony Narodowej. – Waplewo, –2014. – P. 167.

21. Balanjuk Y. V. Algorithms of television scanning optical microscope in determining the parameters of dynamic microobjects / Y. V. Balanjuk, V. I. Shkliarskyi, Y. M. Matiieshyn // Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science TCSET'2016 : proceedings of XIII Int. Conf., 23-26 February 2016 Lviv-Slavske (Ukraine) / Lviv Polytechnic National University [etc.]. – Lviv-Slavske, 2016. – P. 321–325.

22. Баланюк Ю. В. Сканувальний стереотелевізійний оптичний мікроскоп для дослідження мікрооб'єктів / Ю. В. Баланюк, В.І. Шклярський, Р.З. Матвіїв, А.В. Регуш // Міжнародна конференція з інформаційно-телекомунікаційних технологій та радіоелектроніки (УкрМіКо'2016 /UkrMiCo'2016) : зб. мат. наук.-техн. конф., 11–15 вересня 2016 / Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова [та ін.]. – Київ, 2016. – С.184– 191.

*Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:*

23. Пат. 75989 Україна, МПК G06F 3/153, H04N 5/00. Телевізійний сканувальний оптичний мікроскоп / В.І. Шклярський, Ю.М. Матієшин, Ю.В. Баланюк, В. Я. Василюк ; власник патенту Національний університет “Львівська політехніка”. – № u201205135 ; заявл. 25.04.2012 ; опубл. 25.12.2012, Бюл. № 24. – 8 с.

24. Пат. 75990 Україна, МПК G06F 3/153, H04N 5/00. Телевізійний сканувальний оптичний мікроскоп / Ю.М. Матієшин, В.І. Шклярський, Ю.В. Баланюк, Василюк В. Я.; власник патенту Національний університет “Львівська політехніка”. – № u201205137 ; заявл. 25.04.2012 ; опубл. 25.12.2012, Бюл. № 24. – 8 с.

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

26. Пат. 103134 Україна, МПК G06F 3/153, H04N 5/00. Сканувальний телевізійний оптичний мікроскоп / Ю.В. Баланюк, Б.В. Гудзь, В. І. Шклярський; власник патенту Національний університет “Львівська політехніка”. – № u201503700 ; заявл. 20.04.2015 ; опубл. 10.12.2015, Бюл. № 23. – 8 с.

## АНОТАЦІЯ

**Баланюк Ю.В. Методи удосконалення телевізійного сканувального мікроскопа з освітленням досліджуваних мікрооб'єктів в ультрафіолетовому діапазоні.** – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи. Національний університет «Львівська політехніка» МОН України, м. Львів, 2017.

У дисертаційній роботі розв'язано актуальне наукове завдання покращення технічних параметрів телевізійного сканувального мікроскопа, що дозволяє поліпшити якість формованого зображення досліджуваного об'єкта, збільшити швидкодію формування його зображення та розширити функціональні можливості мікроскопа внаслідок використання в ньому для освітлення досліджуваного об'єкта в ультрафіолетовому діапазоні спеціалізованої електронно-променевої трубки високої роздільної здатності.

Розроблено метод визначення динамічних параметрів досліджуваного об'єкта при застосуванні сканувальних растрів різних розмірів (повноформатний растр, мінірастр), що дозволяє скоротити тривалість вимірювань внаслідок зменшення часу формування мінірастра і розширити діапазон вимірюваних параметрів досліджуваного об'єкта при збереженні точності вимірювання.

Розроблений метод формування зображення рухомого досліджуваного об'єкта в центральній зоні екрана монітора при довільному його русі в площині дослідження об'єкта спростить завдання його дослідження оператором.

Запропонований метод визначення граничної швидкості переміщення світної плями на екрані електронно-променевої трубки високої роздільної здатності в телевізійному сканувальному мікроскопі дозволить спростити завдання вибору оптимального режиму роботи мікроскопа для отримання зображення найкращої якості.

Розроблені структурні схеми сканувального телевізійного мікроскопа та алгоритм його роботи розширяють його функціональні можливості при дослідженні біологічних та медичних об'єктів.

**Ключові слова:** телевізійний сканувальний мікроскоп, висока роздільна здатність, мікрооб'єкт, ультрафіолетовий діапазон, параметри.

## АННОТАЦИЯ

**Баланюк Ю.В. Методы усовершенствования телевизионного сканирующего микроскопа с освещением исследуемых микрообъектов в ультрафиолетовом диапазоне.** – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.17 – радиотехнические и телевизионные системы. Национальный университет «Львовская политехника» МОН Украины, г. Львов, 2017.

В диссертационной работе решена актуальная научная задача улучшения технических параметров телевизионного сканирующего микроскопа, что

позволяет улучшить качество формируемого изображения исследуемого объекта, увеличить быстродействие формирования его изображения и расширить функциональные возможности микроскопа вследствие использования в нем для освещения исследуемого объекта в ультрафиолетовом диапазоне специализированной электронно-лучевой трубки высокого разрешения.

Разработан метод определения динамических параметров исследуемого объекта при применении сканирующих растров различных размеров (полноформатный растр, минирастр), что позволяет сократить продолжительность измерений вследствие уменьшения времени формирования минирастра и расширить диапазон измеряемых параметров исследуемого объекта при сохранении точности измерения.

Разработанный метод формирования изображения подвижного исследуемого объекта в центральной зоне экрана монитора при произвольном его движении в плоскости исследования объекта упростит задачу его исследования оператором.

Предложенный метод определения предельной скорости перемещения светящегося пятна на экране электронно-лучевой трубки высокого разрешения в телевизионном сканирующем микроскопе позволит упростить задачу выбора оптимального режима работы микроскопа для получения изображения наилучшего качества.

Разработанные структурные схемы сканирующего телевизионного микроскопа и алгоритм его работы расширят его функциональные возможности при исследовании биологических и медицинских объектов.

**Ключевые слова:** телевизионный сканирующий микроскоп, высокое разрешение, микрообъекты, ультрафиолетовый диапазон, параметры.

## ABSTRACT

**Balanyuk Yu.V. Methods of improvement of a television scanning microscope with illumination of micro objects being studied in the ultraviolet range. – On the rights of the manuscript.**

The dissertation for candidate degree in technical sciences on the specialty 05.12.17 – radio engineering and television systems. Lviv Polytechnic National University of Ministry for Education and Science of Ukraine, Lviv, 2017.

In the dissertation thesis, the actual scientific task solution of improving the technical parameters of a television scanning microscope is contributed, which allows to improve the quality of the imaging image of the object being studied, to increase the speed of its image formation and to expand the functional capabilities of the microscope due to the use of a specially designed high-resolution cathode ray tube to illuminate the object in the ultraviolet range.

The method for determining the dynamic parameters of the object under investigation when scanning rasters of various sizes are used (full-size raster, mini-raster) was developed, which makes it possible to shorten the measurement time due to the reduction in the time for forming a mini-raster and to expand the range of the

measured parameters of the object under investigation while maintaining the measurement accuracy.

The method of forming an image of a moving object under investigation in the central area of the monitor screen for arbitrary movement of the object in the plane of its investigation was proposed, that will simplify the task of its study by the operator.

The proposed method for determining the boundary speed of moving a luminous spot on a screen of a high-resolution cathode ray tube in a television scanning microscope will simplify the task of choosing the optimum operating mode of a microscope for obtaining the best quality images.

The structural diagrams of the scanning television microscope and the algorithm of its operation were developed that will expand its functionality in the study of biological and medical objects.

**Key words:** television scanning microscope, high resolution, micro objects, ultraviolet range, parameters.

