

УДК 621.37.139.001:621.397.133

З.Д. Грицьків, Г.О. Туркінов, В.І. Шклярський
 Національний університет "Львівська політехніка",
 кафедра радіоелектронних пристроїв та систем

ВИБІР ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ СКАНУЮЧОГО ТЕЛЕВІЗІЙНОГО СТЕРЕОМІКРОСКОПА

© Грицьків З.Д., Туркінов Г.О., Шклярський В.І., 2002

Проведено аналіз скануючої системи телевізійного стереомікроскопа з двома рознесеними скануючими електронно-променевими трубками та двома об'єктивами з паралельними оптичними осями, зміщеними відносно осей скануючих трубок. Визначено зв'язок між геометричними параметрами системи та глибиною зони стереобачення. Визначена залежність мінімальної розрізняваної віддалі по глибині рельєфу досліджуваного об'єкта від роздільних здатностей кінескопа відтворюючого пристрою, скануючих трубок, оптичної системи та верхньої частоти смуги пропускання каналу відеосигналу.

Analysis of television stereomicroscope scanning system with two displaced cathode-ray tubes and two objectives with parallel optical axes displaced relatively scanning cathode-ray tubes, is performed. Interrelationship between geometrical parameters of the system and depth of stereotelevision zone is determined. Influence of spatial resolution of display unit picture tube, scanning cathode-ray tubes, optical system, and limit frequency of videosignal channel bandwidth, on minimal distinguished distance along object relief is shown.

У відомих стереотелевізійних мікроскопах використовують дві телевізійні камери, які встановлюють замість окулярів мікроскопа. В скануючому стереотелевізійному мікроскопі замість камер встановлені електронно-променеві трубки (ЕПТ) з високою роздільною здатністю, на екранах яких формуються скануючі телевізійні растри, що суміщуються оптичною системою на досліджуваному об'єкті, утворюючи стереопару скануючих растрів. Відбиті від об'єкта промені сприймаються фотоелектронними помножувачами (ФЕП), вихідні сигнали яких після підсилення використовуються для формування стереозображення за допомогою відтворюючого пристрою. Перевагою скануючих стереотелевізійних систем є високе відношення сигнал/шум на виході та більш висока чіткість одержуваних стереотелевізійних зображень, що має особливе значення для скануючих телевізійних стереомікроскопів при їх використанні для проведення хірургічних операцій в офтальмології, операціях на судинах тощо.

До основних параметрів телевізійного стереомікроскопа треба зарахувати коефіцієнт збільшення, глибину зони стереобачення, мінімальну розрізнявану віддаль по глибині, просторову роздільну здатність стереомікроскопа, чіткість, яскравість, контрастність зображення, геометричні розміри екрана відтворюючого пристрою, допустиму віддаль між об'єктивом та об'єктом досліджень. Цими параметрами визначаються вимоги до оптичної системи, розмірів скануючого растра на сканованому об'єкті, роздільних здатностей кінескопа відтворюючого пристрою та скануючих трубок, верхньої частоти смуги

пропускання відеоідсилювачів. У межах даної статті проведено аналіз, який дозволив визначити відносну глибину зони стереобачення, мінімальну розрізнявану віддаль по глибині, еквівалентну граничну частоту стереосистеми, від якої залежить чіткість зображення, та їх залежність від параметрів окремих вузлів стереомікроскопа.

Особливістю скануючого телевізійного стереомікроскопа порівняно з типовими телевізійними стереосистемами [1,2] є те, що у мікроскопі мають місце інші співвідношення у віддаль між основними елементами оптичних каналів, оскільки мікроскоп повинен забезпечувати збільшене зображення об'єкта, тоді як телевізійні стереосистеми, як правило, формують зменшене зображення сцени. Тому аналіз, проведений в роботах [1,2], не можна безпосередньо застосовувати для вибору основних параметрів стереомікроскопа.

Для вибору та розрахунку параметрів системи для скануючого телевізійного стереомікроскопа нами прийнята система формування стереопари скануючих растрів на об'єкті досліджень, в якій використовуються дві скануючі ЕПТ, що не має принципового значення, оскільки стереопара у скануючих растрів можна одержати і при використанні однієї скануючої ЕПТ, на екрані якої формується один скануючий растр, який за допомогою оптичної стереоприставки розщеплюється на два з заданою стереобазою між ними.

На рис. 1 зображена оптична схема формувача стереопари скануючих растрів. Схема складається з двох скануючих трубок 1 та 2 і двох об'єктивів 3 та 4 з центрами O_L та O_P . Досліджуваний об'єкт розташований в площині фокусування M_0 .

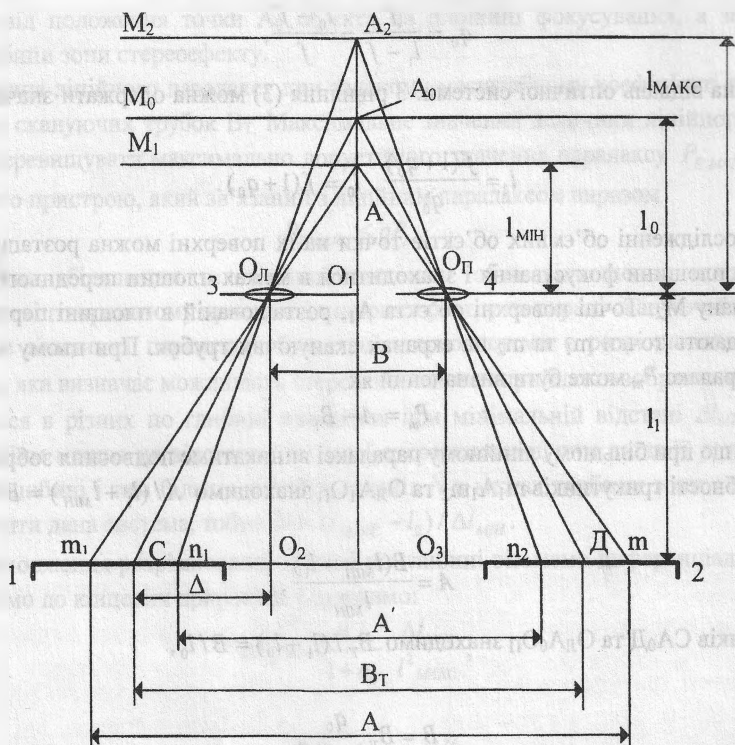


Рис. 1. Оптична схема формувача стереопари скануючих растрів

Екрани трубок розташовані в одній площині, а їх центри рознесені на величину стереобазы B_T . Об'єктиви мають паралельні оптичні осі, які розташовані перпендикулярно до площини екранів трубок і зміщені відносно центрів екранів трубок на величину Δ , що забезпечує суміщення зображення центральних точок скануючих растрів в одній точці в площині об'єкта.

При настроюванні стереопари з фокусуванням в площині M_0 , яка відповідає середній площині глибини стереобачення, і суміщенням променів, що йдуть від центрів скануючих растрів трубок, в точці A_0 , знайдемо необхідне значення зміщення осей об'єктивів Δ .

З подібності трикутників CO_2O_{II} та $O_{II}O_1A_0$

$$\Delta = B \frac{l_1}{2l_0} = \frac{B}{2q_0}, \quad (1)$$

де B - стереобаза об'єктивів; l_1 - віддаль від площини екранів трубок до головної площини об'єктивів; l_0 - віддаль від об'єктивів до площини M_0 фокусування.

Коефіцієнт масштабування оптичної системи

$$q_0 = \frac{b_{OB}}{b_{EKP}}, \quad (2)$$

де b_{OB} - ширина растра в площині об'єкта, b_{EKP} - ширина растрів на екранах скануючих трубок.

Згідно з формулою Гаусса [3]

$$q_0 = \frac{f}{l_1 - f} = \frac{l_0 - f}{f}, \quad (3)$$

де f - фокусна віддаль оптичної системи. З рівняння (3) можна одержати значення l_1 та l_0 у вигляді:

$$l_1 = \frac{f(1+q_0)}{q_0}, \quad l_0 = f(1+q_0). \quad (4)$$

При дослідженні об'ємних об'єктів точки на їх поверхні можна розташувати ближче або далі від площини фокусування і знаходитися в межах площин переднього плану M_1 та заднього плану M_2 . Точці поверхні об'єкта A_1 , розташованій в площині переднього плану M_1 , відповідають точки m_1 та m_2 на екранах скануючих трубок. При цьому максимальний лінійний паралакс P_m може бути визначений як

$$P_m = A - B_T. \quad (5)$$

Зауважимо, що при більшому лінійному паралаксі виникатиме подвоєння зображення.

З подібності трикутників $m_1A_1m_2$ та $O_{II}A_1O_{II}$ знаходимо $A / (l_1 + l_{MIN}) = B / l_{MIN}$ звідки

$$A = \frac{B(l_{MIN} + l_1)}{l_{MIN}}, \quad (6)$$

а з трикутників CA_0D та $O_{II}A_0O_{II}$ знаходимо $B_T / (l_1 + l_0) = B / l_0$, звідки

$$B = B_T \frac{q_0}{1+q_0}. \quad (7)$$

З виводу виразу (6) бачимо, що величина A не залежить від положення точки A_1 на площині M_1 .

Підставивши (7) в (5) з врахуванням (6), одержимо

$$P_m = \frac{(l_{\text{МИН}} + l_1) B_T \cdot l_0}{l_{\text{МИН}} (l_1 + l_0)} - B_T,$$

і після перетворень, враховуючи, що $l_1 = l_0/q_0$, одержимо значення максимального лінійного паралаксу для ближньої зони стереоефекту (зображення)

$$P_m = \frac{B_T \cdot (l_0 - l_{\text{МИН}})}{(1 + q_0) \cdot l_{\text{МИН}}} = \frac{B_T}{1 + q_0} \cdot \delta l_{\text{МИН}}, \quad (8)$$

де $\delta l_{\text{МИН}}$ - відносна величина глибини ближньої зони стереоефекту.

Аналогічно для віддаленої точки A_2 відповідними точками на екранах трубок будуть точки n_1 та n_2 , яким буде відповідати від'ємний лінійний паралакс

$$P_m^- = B_T - A' = B_T - \frac{l_1 + l_{\text{МАКС}}}{l_{\text{МАКС}}} \cdot B.$$

Після перетворень з урахуванням (7) та (4) одержимо

$$P_m^- = \frac{B_T}{1 + q_0} \cdot \frac{l_{\text{МАКС}} - l_0}{l_{\text{МАКС}}} = \frac{B_T}{1 + q_0} \cdot \delta l_{\text{МАКС}}, \quad (9)$$

де $\delta l_{\text{МАКС}}$ - відносна глибина дальньої зони стереоефекту. Очевидно, що різниця $(l_{\text{МАКС}} - l_{\text{МИН}})$ визначає абсолютну величину глибини зони стереобачення. З рівнянь (6), (8) та (9) впливають два таких важливих висновки:

1. Величина лінійного паралаксу P_m та P_m^- , яка визначає глибину зони стереоефекту, не залежить від положення точки A_0 об'єкта на площині фокусування, а залежить від відносної глибини зони стереоефекту.

2. Величина лінійного паралаксу при заданому масштабному коефіцієнті пропорційна до стереобазі скануючих трубок B_T . Максимальне значення величини лінійного паралаксу не повинно перевищувати максимально допустимого значення паралаксу $P_{E, \text{МАКС}}$ на екрані відтворюючого пристрою, який зв'язаний з лінійним паралаксом виразом

$$P_{E, \text{МАКС}} \leq q P_m, \quad (10)$$

де q - лінійне збільшення телевізійної системи, тобто відношення ширини растра зображення на відтворюючому пристрої до ширини растру на екрані скануючої трубки.

Одним з важливих параметрів будь-якої стереосистеми є розрізнявана віддал по глибині $\Delta l_{\text{МИН}}$, яка визначає можливість стереоскопічного сприйняття зображень двох точок, які знаходяться в різних по глибині площинах при мінімальній відстані $\Delta l_{\text{МИН}}$ між цими площинами. Чим менша ця відстань для даної стереосистеми, тим вища її розрізнявальна здатність по глибині і тим більшу кількість планів N в межах глибини зони стереобачення може відтворити дана система, тобто $N = (l_{\text{МАКС}} - l_0) / \Delta l_{\text{МИН}}$.

Для знаходження розрізняваної віддалі по глибині візьмемо диференціал з виразу (9) по l і перейдемо до кінцевих приростів. Одержимо:

$$\Delta P_m = - \frac{B_T l_0}{1 + q_0} \cdot \frac{\Delta l_{\text{МИН}}}{l_{\text{МАКС}}^2}, \quad (11)$$

ЗВІДКИ

$$\Delta l_{\text{МИН}} = \frac{\Delta P_m (1 + q_0) \cdot l_{\text{МАКС}}^2}{B_T l_0}.$$

де $\Delta l_{\text{МИН}}$ - мінімальна розрізнявана віддаль по глибині; $\Delta P_{\text{МИН}}$ - мінімально розрізняваний паралакс стереосистеми. Оскільки здебільшого $l_{\text{МАКС}} / l_0 \approx 1$, можна записати

$$\Delta l_{\text{МИН}} = \frac{\Delta P_{\text{МИН}} (1 + q_0) \cdot l_{\text{МАКС}}}{B_T}, \quad (12)$$

звідки випливає, що для збільшення розрізнявальної здатності по глибині (зменшення $\Delta l_{\text{МИН}}$) при заданій віддалі $l_{\text{МАКС}}$ потрібно збільшити стереобазу B_T або зменшити масштабний коефіцієнт q_0 .

Покажемо, що визначення параметрів скануючої стереосистеми не може бути завершеним без врахування параметрів відтворюючого пристрою та умов спостереження глядачем сформованого стереозображення. При цьому повинні виконуватися дві вимоги: стереозображення повинно забезпечити, по-перше, задану розрізнявану віддаль по глибині об'єкта досліджень, а по-друге - відсутність роздвоєння зображення.

Для оцінки граничних параметрів розглянемо схему сприйняття окремих точок об'єкта в стереоскопічному відтворюючому пристрої, зображену на рис. 2, в якій B_0 - базис очей спостерігача, L - віддаль від очей спостерігача до екрана монітора. Відображення точки A_0 суміщене з екраном, а точки A_1 та A_2 визначають межі глибини стереозображення, що сприймається. Положення точок A_1 та A_2 відобразяться на екрані відповідно у вигляді точок M_L та M_P , а максимальна їх відстань від точки A_0 визначає максимально допустимий бінокулярний паралакс $P_{\text{ЕМАКС}}$, величина якого визначається зоною Панума [1], для якої різниці паралактичних кутів $\beta_0 - \beta_1$ та $\beta_2 - \beta_0$ не перевищують $55'$.

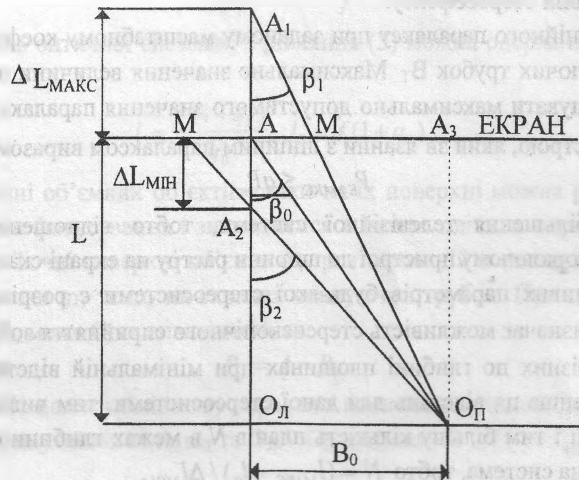


Рис. 2. Схема сприйняття окремих точок об'єкта в стереоскопічному відтворюючому пристрої

З подібності трикутників $A_0 O_L O_P$ та $A_0 O_P A_3$ знаходимо, що кут $\angle A_0 O_L M_P$ дорівнює різниці кутів $\beta_0 - \beta_1 = \alpha_1$, а з трикутників $A_0 O_P A_2$ та $O_L A_2 O_P$ випливає, що кут $\angle M_L O_P A_0$ дорівнює різниці кутів $\beta_2 - \beta_0 = \alpha_2$. На границях глибини сприйняття стереозображення без подвоєння повинна забезпечуватися рівність $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$. В практичних пристроях

допускають кут $\alpha = 55' \div 70'$. При таких кутах α можна вважати, що $A_0 M_{II} = A_0 M_{II} = P_{E \text{ МАКС}}$, тоді одержимо:

$$P_{E \text{ МАКС}} \cong \sqrt{L^2 + B_0^2} \cdot \operatorname{tg} \alpha \cong \sqrt{L^2 + B_0^2} \cdot \alpha. \quad (13)$$

Віддаль до предметів, які спостерігаються при доброму освітленні і звична для ока, називається віддаллю найкращого бачення [3]. Вона умовно приймається такою, що дорівнює 250 мм для нормального зору. Отже, при розташуванні екрана відтворюючого пристрою на такій віддалі, одержимо $P_{E \text{ МАКС}} = 4 - 5$ мм. Підставивши значення $P_{E \text{ МАКС}}$ з (13) у вирази (8) та (9) з урахуванням рівності $P_{E \text{ МАКС}} = q P_m$, див. (10), одержимо при

$P_m = P_m^-$ такий вираз для відносної глибини зони стереобачення $\delta l = (l_{\text{МАКС}} - l_{\text{МИН}}) / l_0$:

$$\delta l = \delta l_{\text{МАКС}} + \delta l_{\text{МИН}} \cong 2 \frac{P_{E \text{ МАКС}} (1 + q_0)}{q \cdot B_T}.$$

Оцінимо кількісно здатність оператора сприймати глибинні співвідношення об'єктів в стереотелевізійному зображенні без його подвоєння. Для цього встановимо аналітичну залежність між глибиною об'ємного зображення, яке сприймається оператором, і віддаллю спостереження L .

Позначимо $\Delta L_{\text{МАКС}}$ - віддаль відображення точки в заекранній зоні відносно екрана, $\Delta L_{\text{МИН}}$ - віддаль від екрана до відображення ближньої точки об'єкта. З подібності трикутників $A_1 O_{II} O_{II}$ та $A_1 A_0 M_{II}$ запишемо $P_{E \text{ МАКС}} / B_0 = \Delta L_{\text{МАКС}} / (\Delta L_{\text{МАКС}} + L)$, звідки

$$\Delta L_{\text{МАКС}} = \frac{P_{E \text{ МАКС}} L}{B_0 - P_{E \text{ МАКС}}}, \quad (15)$$

або

$$\delta L_{\text{МАКС}} = \frac{P_{E \text{ МАКС}}}{B_0 - P_{E \text{ МАКС}}}. \quad (16)$$

Аналогічно з подібності трикутників $A_2 O_{II} O_{II}$ та $M_{II} A_2 A_0$ знаходимо

$$\Delta L_{\text{МИН}} = \frac{P_{E \text{ МАКС}} \cdot L}{B_0 + P_{E \text{ МАКС}}}, \quad (17)$$

$$\delta L_{\text{МИН}} = \frac{P_{E \text{ МАКС}}}{B_0 + P_{E \text{ МАКС}}}, \quad (18)$$

де $\delta L_{\text{МАКС}} = \Delta L_{\text{МАКС}} / L$, $\delta L_{\text{МИН}} = \Delta L_{\text{МИН}} / L$ - відносні відстані до заекраних та передекраних зображень точок об'єкта. При спостереженні зображення на екрані відтворюючого пристрою завжди виконується умова

$$P_{E \text{ МАКС}} \ll B_0. \quad (19)$$

Звідси випливає важливий висновок, який полягає в тому, що відносна величина сприйняття глибини тривимірного зображення при заданих максимальних паралаксах на приймальному екрані не залежить від відстані оператора від екрана трубки в межах виконання умови (13), коли відсутнє роздвоєння зображення.

Порівнюючи вирази (9) та (19), з урахуванням (10), і приймаючи $\delta l_{\text{МАКС}} = \delta l_{\text{МИН}} = \delta l$, після підстановки одержимо

$$\delta L / \delta l = \frac{B_T q}{2B_0(1+q_0)}, \quad (20)$$

тобто величина збільшення відносної глибини стереозображення по відношенню до відносної глибини скануючої стереосистеми пропорційна до величини стереобазиса трубок і коефіцієнта телевізійного збільшення і мало залежить від масштабного коефіцієнта оптичної системи, якщо $q_0 < 1$, що має місце в скануючих телевізійних стереомікроскопах.

Значення мінімального розрізняваного паралаксу скануючої телевізійної системи $\Delta P_{\text{МН}}$, від якого залежить мінімальна розрізнявана віддаль по глибині, визначається багатьма факторами. Розглянемо найголовніші:

1. Роздільна здатність зору оператора.

Роздільна здатність зору визначається мінімальною різницею кутів зору $\Delta\beta_{\text{МН}} = \beta_0 - \beta_1$, (див. рис. 2), який становить

$$\Delta\beta = 5'' \div 30''.$$

При заданій віддалі L до екрана спостереження мінімальний паралакс для зору буде

$$\Delta P_{\text{МНЗ}} = \Delta\beta_{\text{МН}} L, \quad (21)$$

що при $L=250$ мм (відстань найкращого бачення), дає $\Delta P_{\text{МНЗ}} = (6 \div 36)$ мкм.

2. Роздільна здатність кінескопа відтворюючого пристрою.

При відтворенні стереозбереження на екрані кінескопа відтворюючого пристрою мінімально можливий паралакс визначається його роздільною здатністю та особливістю зорового сприйняття оператора. Роздільна здатність кінескопа визначається розмірами елемента телевізійного растра, тобто діаметром світної плями кінескопа

$$D_{\text{ПК}} = b_E / kz,$$

де b_E - ширина растра на екрані кінескопа, k - формат кадру, z - кількість рядків розкладання зображення $z = 625$ [2].

Проведені психофізіологічні дослідження показали [1], що для тренуваних спостерігачів мінімально розрізняваний лінійний паралакс відповідає приблизно 0,2 розміру телевізійного елемента, тобто

$$\Delta P_{\text{МНК}} = 0,2b_E / kz = 0,2D_{\text{ПК}}. \quad (22)$$

При $k=4/3$, $b_E = 250$ мм (кінескоп 31ЛК), $z=625$, $D_{\text{ПК}} = 0,3$ мм, а $\Delta P_{\text{МНК}} = 60$ мкм.

3. Роздільна здатність скануючих трубок.

При виборі тої чи іншої скануючої трубки потрібно, щоб її роздільна здатність не погіршувала роздільної здатності системи в цілому. Для цього діаметр плями $D_{\text{ПСК}}$ скануючої трубки повинен відповідати умові:

$$D_{\text{ПСК}} \leq \frac{D_{\text{ПК}}}{q \cdot q_1}, \quad (23)$$

де q_1 - коефіцієнт телевізійного збільшення за рахунок зменшення растра на екрані скануючої трубки (зменшення розмірів растра трубки дозволяє пропорційно збільшувати загальний коефіцієнт збільшення стереосистеми), тобто $q_1 = b_{\text{СКМАКС}} / b_{\text{СКМІН}}$, де $b_{\text{СКМАКС}}$ і $b_{\text{СКМІН}}$ - максимальний і мінімальний розмір ширини растра на екрані скануючої трубки.

При використанні сучасної проекційної трубки типу 4ЛК7Т, яка має робочий розмір екрана

діаметром $d = 30$ мм і діаметр світної плями $D_{ПСК} = 10$ мкм, визначимо розміри телевізійного растра при форматі $k = 4/3$, який вписується в задане робоче поле:

$$b_{СК\text{ МАКС}} = \frac{d \cdot k}{\sqrt{1+k^2}} = \frac{30 \cdot 1,33}{\sqrt{1+1,33^2}} = 24 \text{ мм},$$

$$h_{СК\text{ МАКС}} = b_{СК\text{ МАКС}} / k = 24 / 1,33 = 18 \text{ мм}.$$

Тоді коефіцієнт телевізійного збільшення $q = \frac{b_E}{b_{ЕСК}} = \frac{250}{24} = 10,4$.

З виразу (23) знайдемо максимально допустиму величину q_1 ,

$$q_1 \leq \frac{D_{ПК}}{D_{ПСК} q} = \frac{0,3}{0,01 \cdot 10,4} = 2,9,$$

тобто $b_{СК\text{ МИН}} = b_{СК\text{ МАКС}} / q_1 = 24 / 2,9 = 8,3$ мм.

4. Роздільна здатність оптичної системи.

Оптична система скануючого мікроскопа є одним з найважливіших елементів, від роздільної здатності якої залежить роздільна здатність мікроскопа в цілому.

Як відомо, теоретична роздільна здатність оптичної системи обмежена дифракцією світла. Згідно з [1] мінімальний радіус плями, який може забезпечити об'єктив, визначається виразом

$$r = \frac{1,22\lambda}{D} f,$$

де λ - довжина світлової хвилі, f та D - відповідно фокусна віддаль та діаметр отвору об'єктива. Для $\lambda = 0,560$ мкм та $D/f = 1/6$, $r = 4,1$ мкм.

Зворотна величина визначає кількість ліній на 1 мм, які розділено відображає об'єктив, тобто $R = 1/r = 243$ лін/мм. Але реальна роздільна здатність об'єктива значно гірша за теоретичну, що зумовлено цілим рядом факторів, такими як сферична та хроматична аберації, астигматизм, неоднорідність скла, похибки виготовлення тощо. Згідно з [4] в табл. 1 наведені основні параметри об'єктивів, які можна використати в скануючому мікроскопі.

Таблиця 1

Параметри об'єктивів

Тип об'єктива	Фокусна віддаль, мм.	Відносний отвір	Роздільна здатність макс/мін, лін/мм.
Русар-25А	70	1:6,3	20
Геліос-40	85	1:1,5	32/16
Юпітер-11	135	1:4	34/19
Таір-3	300	1:4,5	36/30

Середній роздільній здатності $R=30$ лін/мм відповідає радіус плями $r = 1/R=33$ мкм, що еквівалентно діаметру світної плями на екрані скануючої трубки $D_{ПСК\text{ ЕКВ}} = r/q_0$. Припускаючи $D_{ПСК} = D_{ПСК\text{ ЕКВ}}$, з рівняння (23) знайдемо максимально припустиме значення коефіцієнта збільшення q_1 , при якому об'єктив ще не погіршує роздільної здатності системи. При $q_0 = 1$, $D_{ПСК\text{ ЕКВ}} = 33$ мкм одержимо

$$q_1 = \frac{D_{ПК} q_0}{q D_{ПСКЕКВ}} = \frac{300 \cdot 1}{10,4 \cdot 33} = 0,84.$$

В розглянутому випадку $q_1 < 1$, це означає, що роздільна здатність скануючого мікроскопа визначається в основному роздільною здатністю оптичної системи.

5. Ширина смуги пропускання каналу формування відеосигналу зображення.

До ланки формування відеосигналу зображення входять підсилювач сигналу фотоелектронного помножувача (ФЕП) та відеопідсилювач відтворюючого пристрою. Зважаючи на роздільну здатність відтворюючого пристрою, верхню частоту загального тракту відеопідсилювачів можна визначити згідно з [4] за виразом

$$F_{МАКС} = \frac{k \cdot z^2 n_K}{2} = 0,66 z^2 n_K. \quad (24)$$

Вплив вищезгаданих факторів на загальну роздільну здатність стереомікроскопа може бути визначений за виразами

$$F_{1МАКС} = 0,5 \frac{b_E}{D_{ПК} T_{РПР}}, \quad (25)$$

$$F_{2МАКС} = 0,5 \frac{b_{СКМАКС}}{D_{ПСК} T_{РПР} q_1}, \quad (26)$$

$$F_{3МАКС} = 0,5 \frac{b_{СКМАКС}}{r \cdot T_{РПР} \cdot q_1} q_0, \quad (27)$$

де $F_{1МАКС}$, $F_{2МАКС}$, $F_{3МАКС}$ - максимальні частоти, величина яких обмежується відповідно роздільною здатністю кінескопа, скануючої трубки та оптичної системи, $T_{РПР}$ - тривалість прямого ходу рядкової розгортки.

Згідно з [5] тривалість часу встановлення результуючої перехідної характеристики пристрою, який складається з декількох послідовно з'єднаних ланок з часами встановлення $\tau_{\phi 1}$, $\tau_{\phi 2}$, $\tau_{\phi 3}$ і т.д. визначається за виразом

$$\tau_{\phi РЕЗ} = \sqrt{\tau_{\phi 1}^2 + \tau_{\phi 2}^2 + \tau_{\phi 3}^2 + \dots},$$

за умови, що перехідні характеристики не мають значних викидів. Переходячи до амплітудно-частотних характеристик ланок, можемо записати

$$\frac{1}{F_E^2} = \frac{1}{F_{1МАКС}^2} + \frac{1}{F_{2МАКС}^2} + \dots + \frac{1}{F_{NМАКС}^2}, \quad (28)$$

де F_E - еквівалентна гранична частота стереомікроскопа.

Мінімальний розрізняваний паралакс на екрані скануючої трубки з урахуванням (22) складатиме:

$$\Delta P_{МИН} = \Delta P_{МИНК} / q_1 q = 0,2 D_{ПК} / q_1 q. \quad (29)$$

Підставивши в рівняння (12) значення $\Delta P_{МИН}$ з (29), з урахуванням (25) та (28), після перетворень одержимо:

$$\Delta l_{МИН} = \frac{0,1 \cdot (1 + q_0) b_E l_{МАКС}}{q_1 q B_1 D_{ПК} F_E T_{РПР}}. \quad (30)$$

Одержане рівняння дозволяє оцінити величину розрізняваної віддалі по глибині

стереозображення з урахуванням еквівалентної граничної частоти стереосистеми і вибраних величинах стереобазис B_T та розміру екрана відтворюючого пристрою.

Висновки

1. Проведений аналіз показав, що визначення основних параметрів скануючого телевізійного стереомікроскопа, а саме - відносної глибини зони стереобачення та розрізняваної віддалі по глибині - тісно пов'язане з вибором параметрів відтворюючого пристрою та умов спостереження стереозображення.

2. Величина відносної глибини зони стереобачення обернено пропорційна стереобазис скануючих трубок та коефіцієнту телевізійного збільшення.

3. Розрізнявана віддаль по глибині стереомікроскопа пропорційна віддалі від об'єкта до об'єктива та обернено пропорційна стереобазис скануючих трубок, коефіцієнту телевізійного збільшення та еквівалентній граничній частоті стереомікроскопа.

4. Еквівалентна гранична частота залежить від роздільних здатностей кінескопа, скануючих трубок, оптичної системи та граничної частоти відеопідсилювачів.

Проведений аналіз можна застосовувати і для розрахунків стереосистеми з використанням однієї скануючої трубки та стереонасадки, яка складається з напівпрозорого і глухого дзеркал та двох призм для розщеплення скануючого растра на два [6].

1. Мамчев Г.В., *Стереотелевизионные устройства отображения информации*. -М.: Радио и связь, 1983. - 96 с. 2. Джакония В.Е., Шмаков П.В. *Стереовидение под ред. Шмакова П.В.*, Вып. 4. - Л. : 1959. - 82 с. 3. Мальцев М.Д., Г.А. Каракулина Г.А. *Прикладная оптика и оптические измерения*. - М. : Машиностроение, 1968. - 472 с. 3. *Пособие по фотограмметрии*. Под ред. В.И. Кораблева. М.: Недра.1971. - 168 с. 4. Орловский Е.Л., Халфин П.М. и др. *Теоретические основы электрической передачи изображений*, Т.1. - М.: Советское радио. 1962. - 726 с. 5. Миллер В.А., Куракин Л.А., *Приемные электронно-лучевые трубки*. -М.: Энергия, 1971. - с.149. 6. *Стереоскопична ТВ-камера*. Пат. Японії №62-211224, МКІ H04N 13/02, G03B 35/04.