

## ОСОБЛИВОСТІ СКАНУВАННЯ ДИНАМІЧНИХ МІКРООБ’ЄКТІВ РІЗНИХ РОЗМІРІВ ТА ФОРМИ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕЛЕВІЗІЙНОГО СКАНУВАЛЬНОГО ОПТИЧНОГО МІКРОСКОПА

© Шклярський В.І., Матієшин Ю.М., Сторож В.Г., 2011

Розглянуті питання використання телевізійного сканувального оптичного мікроскопа для дослідження мікрооб’єктів різних розмірів, форми та з довільним розподілом прозорості. Показано також вплив розмірів, форми та розподілу інтенсивності свічення сканувального елемента на отримуваний сигнал на виході фотоелектронного помножувача. Побудовані перехідні характеристики під час сканування мікрооб’єктів, що мають різне значення та характер швидкості руху.

**Ключові слова:** динамічні мікрооб’єкти, фотоелектронний помножувач.

Questions of a television scanning optical microscope using for research of microobjects of the various sizes, forms and with any distribution of a transparency are considered. Influence of the sizes, form and distribution of a luminescence intensity of a scanning element to a received signal to an output of the photomultiplier is shown also. Transitive characteristics are constructed at scanning microobjects, which have different value and character of velocity.

**Key words:** dinamic microobjects, photomultiplier.

### Вступ

Найпоширенішими в електронних та електромеханічних сканувальних системах є сканувальні елементи (СЕ) круглої чи прямокутної форми [1–4]. Важливою характеристикою СЕ є розподіл його інтенсивності свічення  $I$ , що здебільшого зводиться до рівномірного чи гауссового (рис. 1). Форма мікрооб’єктів (МО), що досліджуються в медицині та мікробіології, є нерідко круглою чи еліпсоподібною з рівномірним чи гауссовим розподілом прозорості МО (наприклад, елементи крові під час досліджень у живому руслі) [5, 6].

### Сканування мікрооб’єктів СЕ з різними розподілами інтенсивності свічення

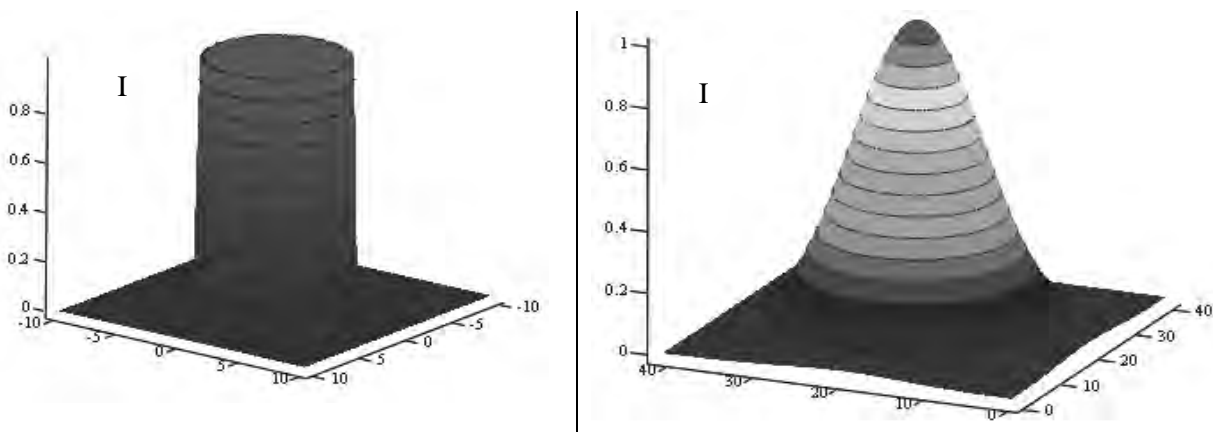


Рис. 1. Приклади розподілів інтенсивності свічення СЕ

Згідно з цими міркуваннями на рис. 2 побудована модель процесу сканування досліджуваного МО. Розглянемо напівпрозорий МО з радіусом  $R_O$  та швидкістю руху  $V_O$ . Розміри СЕ та МО можуть бути рівними ( $R_O=R_C$ ) або різними за значенням ( $R_O \neq R_C$ ). МО може рухатись як у напрямку сканування, так і проти нього. Швидкість МО  $V_O$  є значно нижчою за швидкість сканування у рядку  $V_C$  (тобто СЕ має можливість повністю просканувати МО і досягнути кінця рядка сканування раніше за нього незалежно від напрямку руху МО чи його положення в рядку). Сканування відбувається у неперервному режимі з постійною швидкістю (телевізійний режим).

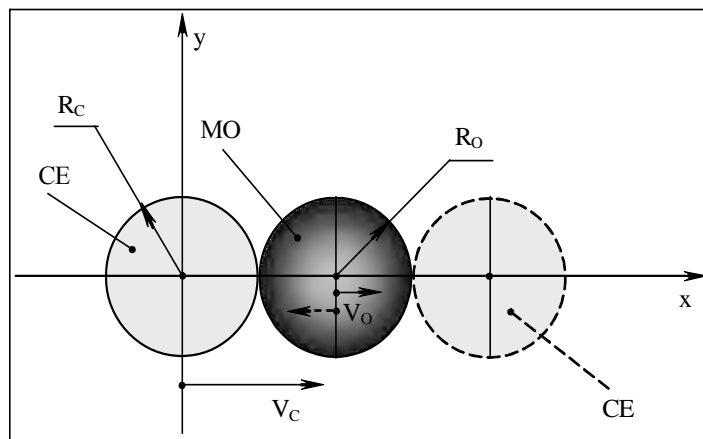


Рис. 2. Графічне відображення моделі процесу сканування

Формування сигналу на виході фотоелектронного помножувача (ФЕП) в цьому випадку відбувається залежно від характеру розподілу як СЕ, так і МО. На рис. 3 наведені основні варіанти розподілів СЕ та МО, а також отримувані сигнали на виході ФЕП. На рис. 3, а показано сигнал, який одержують за рівномірних розподілів СЕ та МО. Рис. 3, б демонструє сигнал при рівномірному розподілі СЕ та гауссовому в МО. На рис. 3, в показано сигнал за гауссового розподілу у СЕ та рівномірного в МО. Сигнал на виході ФЕП, що формується за гауссового розподілу у СЕ та МО, наведений на рис. 3, г. Рис. 3, д та 3, ж відображають сигнал при різних розмірах СЕ та МО з рівномірними розподілами.

Наведені графіки одержано моделюванням у середовищі Mathcad 11 Professional. Вони стосуються випадку, коли швидкість МО не впливає на отримуваний сигнал. Графіки дозволяють проаналізувати процес зміни сигналу під час сканування МО вздовж горизонтальної осі (абсцис) з метою визначення його місцеположення в рядку сканування, а також визначення його розмірів. Сканування вздовж осі ординат відповідатиме горизонтальному за умови симетричності розподілів СЕ та МО. Відрахунок координат відбувається від центра СЕ, тобто система координат є рухомою. Аналіз отриманого сигналу проводиться тільки для випадку наявності перекриття між СЕ та МО, оскільки розгляд інших варіантів взаємних положень СЕ та МО є недоцільним. Значення параметрів моделі сканування, що використовувались під час обчислень та побудови сигналів, такі:

- радіус СЕ  $R_C - 0,1 \dots 10$  (відн.од.);
- радіус МО  $R_O - 0,1 \dots 10$  (відн.од.);
- відношення розмірів МО та СЕ  $a=R_O/R_C - 0,1 \dots 10$  (відн.од.);
- швидкість сканування  $V_C - 1$  (відн.од.);
- швидкість руху МО  $V_O - 0 \dots 0,5V_C$  (відн.од.);
- відносна швидкість руху МО  $W_O=V_O/V_C - 0 \dots 0,5$  (відн.од.);
- інтегральна чутливість ФЕП  $\epsilon - 1$  (відн.од.);
- інтенсивність свічення в центрі СЕ  $I - 1$  (відн.од.);
- прозорість МО  $S - 1$  (відн.од.);
- тривалість сканування (переміщення по осі x)  $t - -2R_C \dots 2R_C$  (відн.од.);
- переміщення по осі y – відсутнє;
- крок сканування –  $0,01R_C \dots 0,1R_C$  (відн.од.);
- крок зміни швидкості руху МО –  $0,01V_C \dots 0,1V_C$ ;
- характер руху МО – рух у напрямі сканування або проти напрямку сканування.

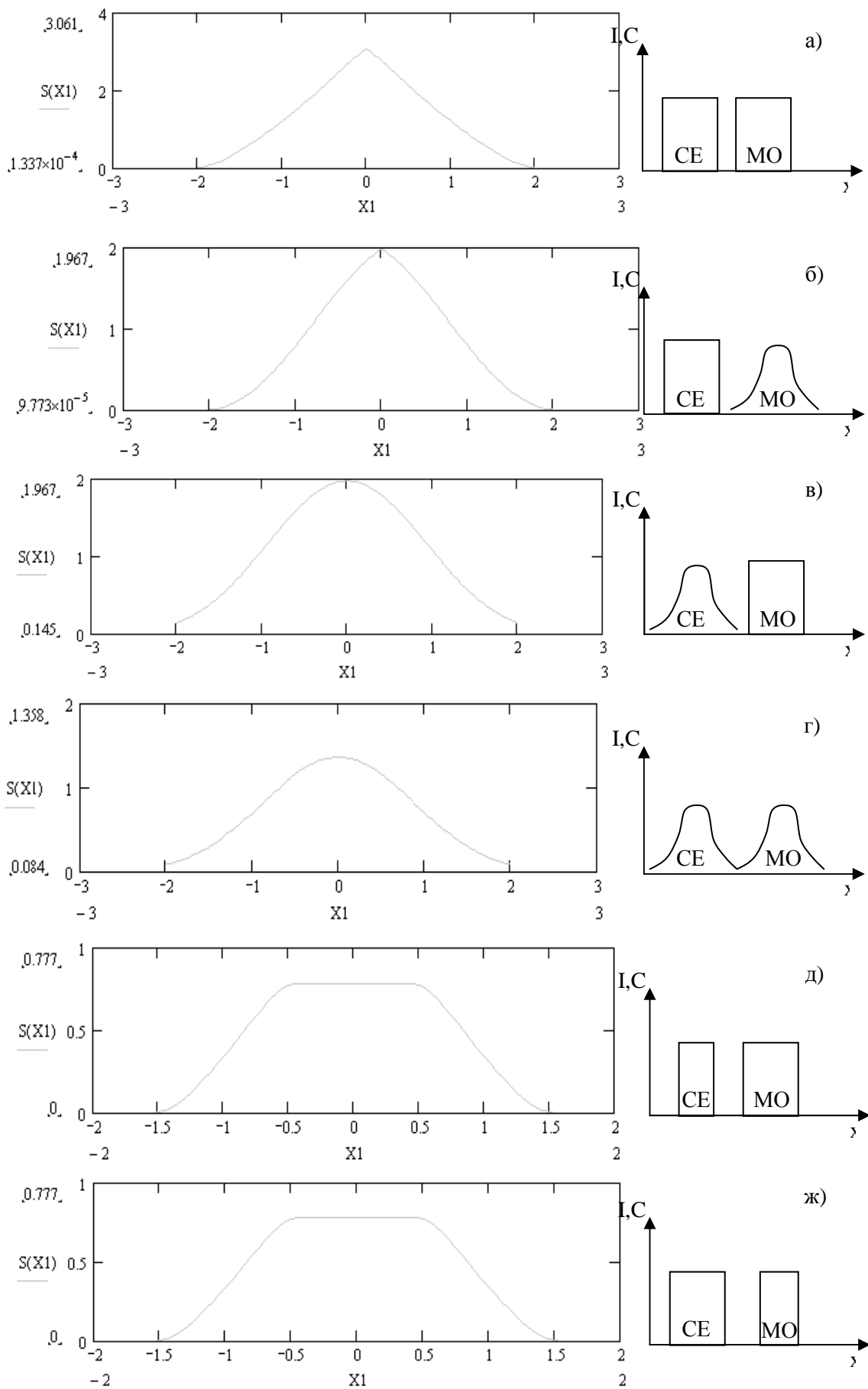


Рис. 3. Сигнал на виході ФЕП за різних розподілів у CE та MO

### Сканування мікрооб'єктів довільної форми СЕ з рівномірним розподілом інтенсивності світіння

Коли МО має складнішу симетричну чи несиметричну форму, сигнал, що отримується під час його сканування, також має складну форму. На рис. 4 наведено декілька прикладів таких МО та сигналів на виході ФЕП порівняно зі звичайним симетричним сигналом у разі рівномірного розподілу в СЕ та МО.

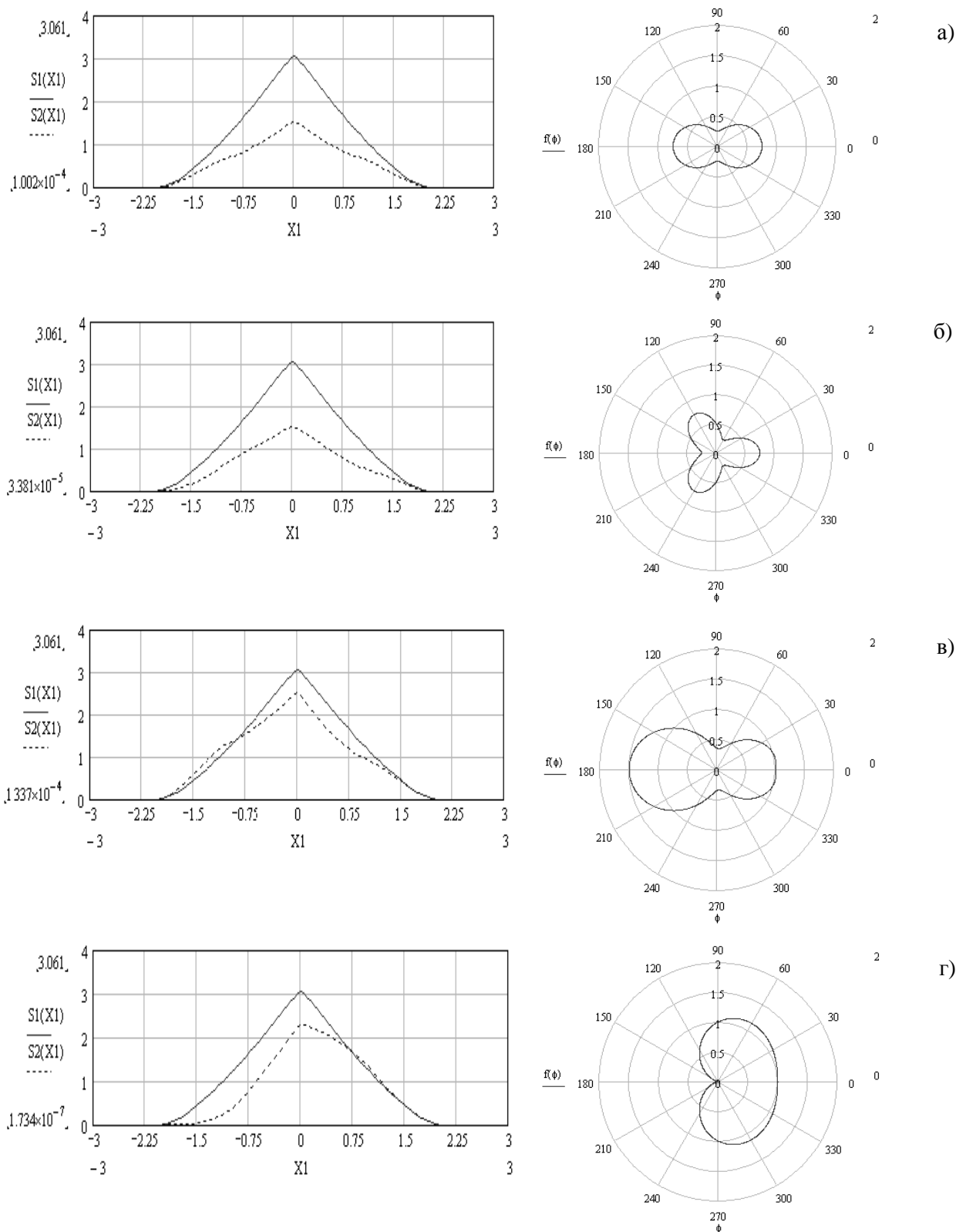


Рис. 4. Приклади сигналів від МО складної симетричної та несиметричної форми

З рисунку видно, що МО, симетричні відносно вертикальної осі, утворюють симетричний сигнал (рис. 4, а), тоді як МО складнішої геометричної форми утворюють асиметричний сигнал (рис. 4, б – 4, г). У деяких випадках максимум асиметричного сигналу може бути зміщений відносно початку координат, тобто центра СЕ. Це пов'язано з положенням геометричного центра самого МО, що впливає на величину площі перекриття між СЕ та МО у кожен конкретний момент часу.

#### Аналіз впливу швидкості руху МО на сигнал фотоелектронного помножувача

Проаналізуємо наведену модель сканування з погляду точності визначення цього параметра. Вважатимемо, що швидкість руху МО є достатньо великою і здійснює вплив на сигнал, який формується на виході ФЕП під час сканування. На рис. 5 наведені перехідні характеристики під час сканування МО, швидкість якого змінюється в межах від 0 до половини значення  $V_C$ . Рух МО відбувається у напрямку сканування.

Як бачимо з рисунку, зі збільшенням швидкості МО відбувається збільшення тривалості сигналу та, відповідно, зменшення крутизни його перехідної характеристики (максимальна крутизна перехідної характеристики відповідає рівню  $0,5 I_{c,max}$  і збігається з моментом переходу центра СЕ через границю МО). Це, безумовно, призводить до похибок під час визначення місцеположення МО у рядку сканування і, відповідно, ускладнює точне визначення розмірів та динамічних параметрів цього МО.

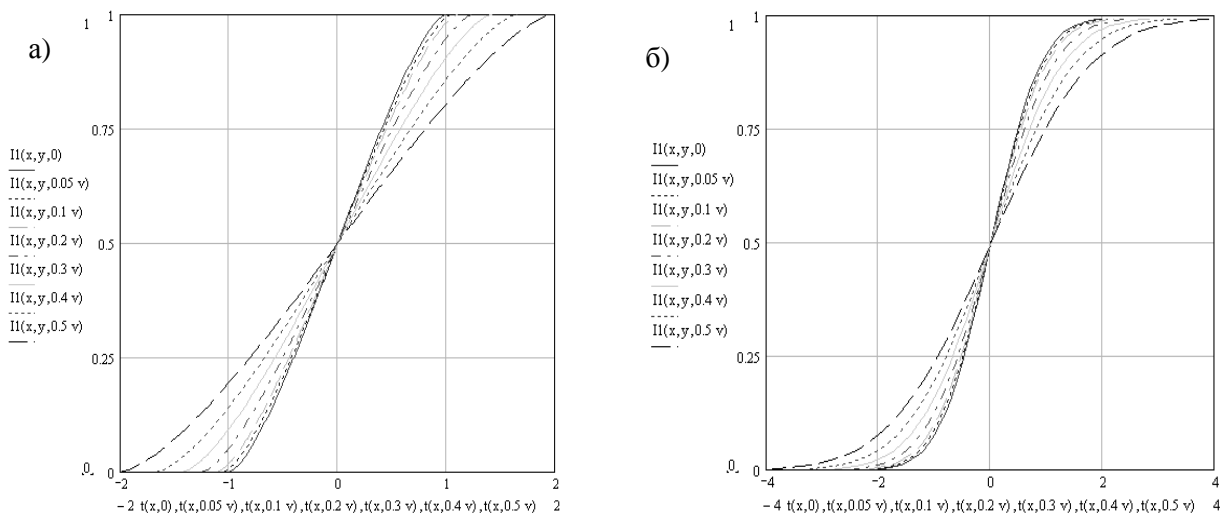


Рис. 5. Перехідні характеристики під час руху МО у напрямку сканування

На рис. 6 показані перехідні характеристики під час сканування МО, що рухається назустріч руху СЕ. Значення швидкості  $V_O$  та інших параметрів є такими самими як для попереднього випадку, тому є можливість легко порівняти отримані перехідні характеристики з попередніми. Як бачимо з рисунку, збільшення швидкості руху МО призводить до зменшення тривалості сигналу сканування. Крутизна перехідної характеристики зростає. Як і у першому випадку, максимальна різниця між тривалістю сигналу для  $V_O=0$  та  $V_O=0,5V_C$  буде істотною (майже у два рази).

Побудовані на рис. 5 та 6 характеристики стосуються випадків рівномірних розподілів інтенсивності свічення СЕ та прозорості МО (рис. 5, а та 6, а), а також гауссового розподілу інтенсивності свічення СЕ та рівномірного розподілу прозорості МО (рис. 5, б та 6, б).

Графік, який відображає залежність похибки визначення швидкості руху МО від порогового значення сигналу ФЕП  $q$  для різних значень відносної швидкості руху МО  $W_O$  у разі рівномірних розподілів інтенсивності свічення СЕ та прозорості МО, наведений у [7]. Рис. 7, а ілюструє графік залежності похибки визначення швидкості руху МО від порогового значення сигналу ФЕП  $q$  для різних значень відносної швидкості руху МО  $W_O$  у випадку гауссового розподілу інтенсивності свічення СЕ та рівномірного розподілу прозорості МО. Для порівняння на рис. 7, б показаний графік, що міститься у [7].

Як видно з графіків, використання рівномірних розподілів інтенсивності свічення СЕ та прозорості МО дозволяє забезпечити вищу точність вимірювання тривалості імпульсу ФЕП (приблизно в 1,5 рази) та, відповідно, визначення параметрів МО за низького порогового значення

напруги спрацьовування схеми вимірювання. Вибір відповідного порогового значення напруги спрацьовування схеми вимірювання дозволяє зменшити похибку визначення тривалості цього сигналу, а, отже, і похибку визначення швидкості руху МО як у першому, так і у другому випадках незалежно від значення відносної швидкості руху МО  $W_0$ .

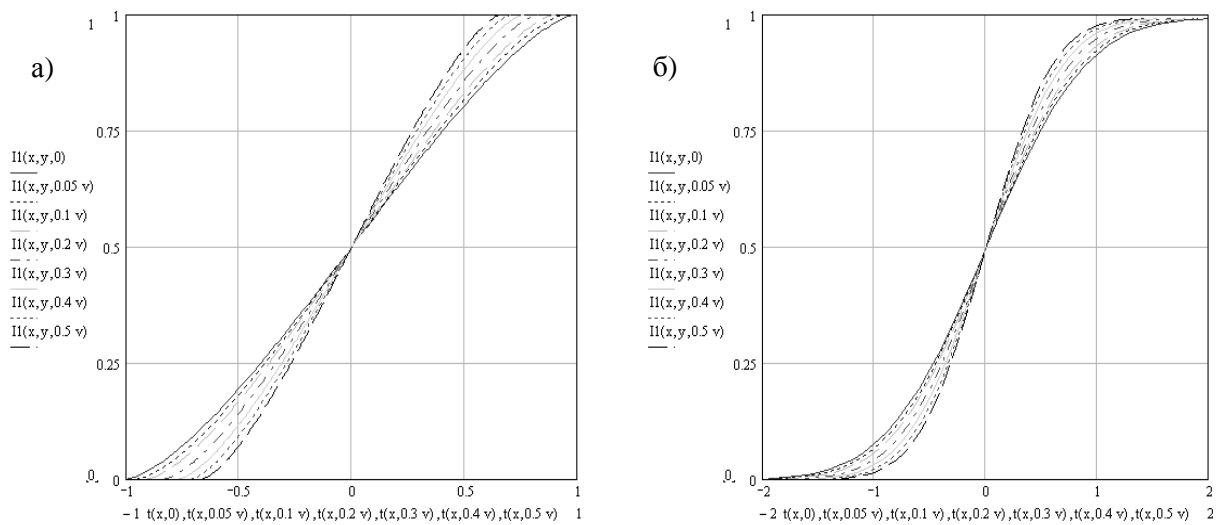


Рис. 6. Перехідні характеристики під час руху МО проти напрямку сканування

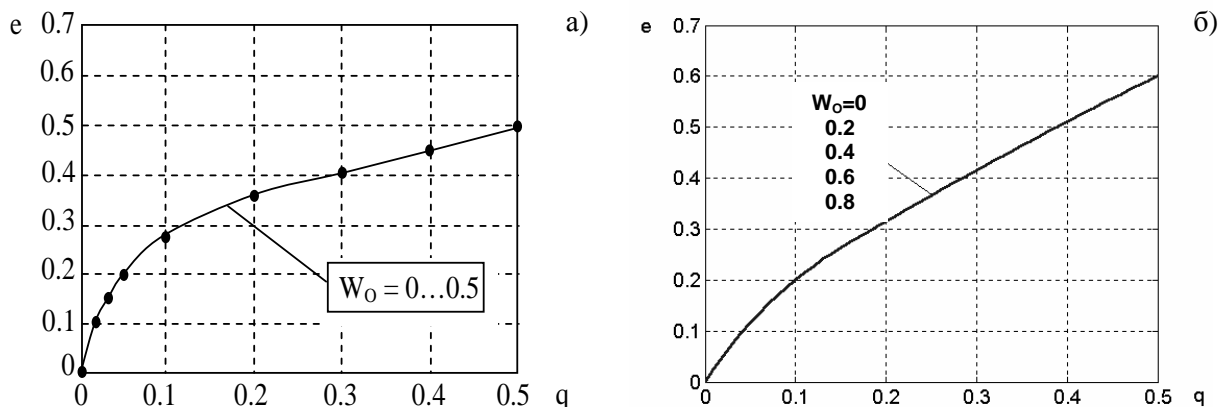


Рис. 7. Залежність похибки визначення швидкості руху МО від порогового значення сигналу ФЕП

Не менш важливим випадком є вплив несиметричності розподілів СЕ та МО на отримуваний під час сканування сигнал на виході ФЕП. Розглянемо для прикладу розподіли інтенсивності світіння СЕ у вигляді, який наведено на рис. 8 та 9. Наведені функції Ейрі та Бесселя також дають можливість промодельовати багато наявних у природі видів МО та мікропроцесів.

На рис. 10 за допомогою тривимірної імітаційної моделі у середовищі Mathcad 11 Professional побудовано приклади об'ємних розподілів, що мають несиметричний характер відносно осі сканування (абсцис) та складну форму. Сигнали, що формуються на виході ФЕП у разі сканування МО з різними типами розподілів прозорості (зокрема і симетричними) СЕ з такими типами несиметричних розподілів інтенсивності світіння, мають несиметричну форму. Отже, вплив на симетричність сигналу ФЕП здійснюється як розподілом у СЕ, так і розподілом у МО.

### Висновки

- У разі симетричних розподілів у СЕ та МО під час сканування отримуємо симетричний сигнал на виході ФЕП;
- Сигнал під час сканування вздовж вертикальної осі (ординат) відповідатиме сигналу у разі сканування вздовж горизонтальної осі (абсцис) за умови симетричності розподілів СЕ та МО;

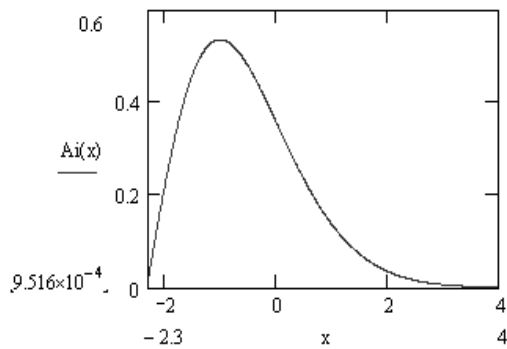


Рис. 8. Функція Ейрі першого роду

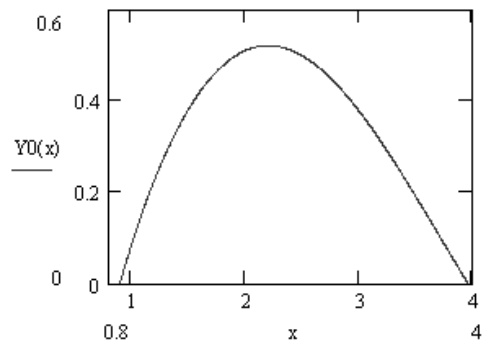


Рис. 9. Функція Бесселя другого роду, нульового порядку

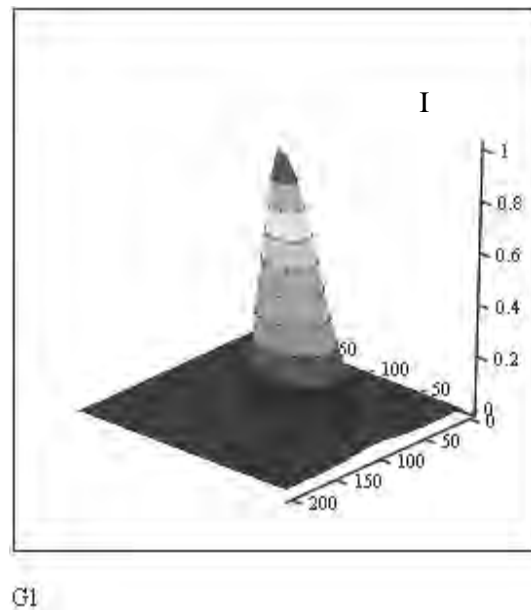
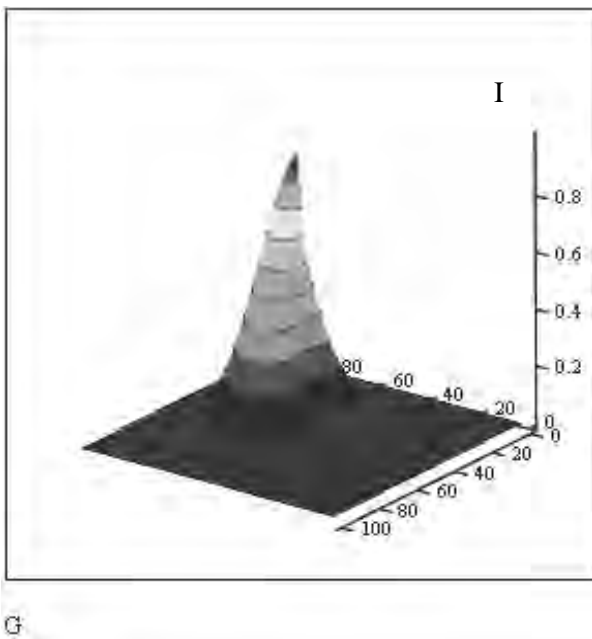


Рис. 10. Приклади об'ємних несиметричних розподілів

• МО складної несиметричної форми під час сканування утворюють асиметричний сигнал на виході ФЕП;

• Порівнююючи рівномірний та гауссовий розподіли інтенсивності свічення СЕ, перший забезпечує більший рівень сигналу на виході ФЕП (практично у півтора раза) та вищу точність визначення параметрів МО. У разі спрацьовування схеми вимірювання на рівні 0,1 максимальної амплітуди імпульсу рівномірний розподіл забезпечує у 1,5 раза вищу точність вимірювання.

1. Абакумов В. Г. Фотозлектрические сканирующие устройства преобразования информации / Абакумов В. Г. – К. : Вища школа, 1979. – 168 с. 2. Дубовик А. С. Фотографическая регистрация быстротекающих процессов / Дубовик А. С. – М. : Наука, 1964. – 468 с. 3. Теоретические основы электрической передачи изображений. Телевидение и фототелеграфия / [Е. Л. Орловский, А. М. Халфин, Л. Д. Хазов и др.] ; под общ. ред. А. В. Таранцова. – М. : Советское радио, 1962; Т. 1. – 1962. – 730 с. 4. Теоретические основы электрической передачи изображений. Телевидение и фототелеграфия / [Е. Л. Орловский, А. М. Халфин, Л. Д. Хазов и др.] ; под общ. ред. А. В. Таранцова. – М. : Советское радио, 1962; Т. 2. – 1962. – 400 с. 5. Физиология человека : в 3 т. / [под ред. Шмидта Р., Тевса Г.] ; пер. с англ. – М. : Мир, 1996; Т. 2. – 1996. – 641 с. 6. Медична біологія: підручник / [В. П. Пішак, Ю. І. Бажора та ін.]. – Вінниця : Нова книга, 2004. – 656 с. 7. Матієшин Ю. Визначення швидкості мікрооб'єкта телевізійним оптичним сканувальним мікроскопом в однорядковому режимі / Юрій Матієшин, Зенон Грицьків // Eastern European Journal of Enterprise Technologies (Східноєвропейський журнал передових технологій). – 2006. – № 4/2 (22). – С. 27–32.