

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОХИБОК ВИМІРЮВАНЬ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ФІТОПЛАНКТОНУ

Проведено експериментальне дослідження похибок вимірювань геометричних параметрів фітопланктону. Перевірено вірогідність математичних моделей цих похибок і підтверджено результати розрахунку точнісних характеристик автоматизованої системи для вимірювань геометричних параметрів фітопланктону. Отримані результати можуть бути використані для розробки автоматизованих інформаційно-вимірювальних систем та їх використання в промисловості

О.М. Безвесільна

Доктор технічних наук, професор
Кафедра приладобудування
Національний технічний університет України “Київський
політехнічний інститут”
пр. Перемоги, 37, м. Київ 03056
Контактний тел.: (044) 236-09-26

А.П. Войцицький

Доцент
Кафедра моніторингу навколишнього природного середовища
Житомирський національний агроєкологічний університет
бульв. Старий, 7, м. Житомир, Україна, 10008
Контактний тел.: (0412) 37-84-82

Т.О. Єльнікова

Кандидат технічних наук, доцент
Кафедра екології
Житомирський Державний технологічний університет
вул. Черняхівського, 103, м. Житомир, Україна, 10005
Контактний тел.: (0412) 37-84-82

1. Вступ

В процесі формування, передачі і перетворення відеоінформації у вимірювальному каналі виникають

похибки і викривлення, які мають вплив на точність вимірювань геометричних параметрів фітопланктону (ГПФ) та його маси. Вказані похибки пов'язані із загальними принципами перетворення візуальної

інформації в цифрове відеозображення, з обраними характеристиками технічних засобів вимірювального каналу, з параметрами алгоритмів обробки вимірювальної відеоінформації. Тому досить важливою частиною вимірювань геометричних параметрів фітопланктону (ГПФ) є дослідження похибок цих вимірювань.

2. Експериментальні дослідження.

Експериментальне дослідження похибок вимірювань ГПФ було проведено з метою перевірки вірогідності математичних моделей цих похибок і підтвердження результатів розрахунку точніших характеристик автоматизованої системи для вимірювань ГПФ.

При експериментальних дослідженнях використовувалися тестові об'єкти, що розміщені у мікроскопі, що містить світлу металеву стрічку на темному фоні. Такі тестові об'єкти мають заздалегідь відомі геометричні розміри та виготовлені з високою точністю, достатньою для експериментальних досліджень та оцінки похибок вимірювань ГПФ.

Як відомо [1,2,3], для вимірювання мікроскопічних об'єктів за допомогою мікроскопу застосовують окуляр-мікрометр з вимірювальною лінійкою. Ціну поділки окуляр-мікрометру визначають за допомогою об'єкта-мікрометра індивідуально для кожного мікроскопу і об'єктиву. Такий об'єкт-мікрометр представляє собою предметне скло з нанесеною на нього лінійкою, ціна поділки якої складає $10 \text{ мкм} \pm 5\%$. Цей предметне скло було використано в якості тестового об'єкту вимірювань.

Іншим тестовим об'єктом вимірювань може бути лічильна камера, що входить до набору додаткового обладнання мікроскопу і призначена для підрахунку клітин та складових елементів різних рідин, а також мікроорганізмів, в тому числі – фітопланктону. Лічильна камера представляє собою пластину з товстого скла з поглибленням $0,1 \text{ мм}$, на дні якого нанесено лічильну сітку. Поглиблення накривають шліфованим покривним склом. постійна висота лічильної камери забезпечується щільним приляганням покривного скла до пластини. Лічильна камера складається з великих та малих квадратів. Лічильна сітка наноситься на скло методом вакуумного напилення, що забезпечує максимальну контрастність зображення та високу точність дотримання геометричних розмірів сітки.

Існують лічильні камери різних типів, що відрізняються кількістю та групуванням великих та малих квадратів. Наприклад, лічильна камера Горяєва має такі технічні характеристики:

- сторона малого квадрату $0,05 \pm 0,001 \text{ мм}$;
- сторона великого квадрату $0,2 \pm 0,002 \text{ мм}$;
- розмір лічильної сітки $3,0 \pm 0,005 \text{ мм}$;
- глибина лічильної камери $0,1 \pm 0,0008 \text{ мм}$;
- площа лічильної сітки $9,0 \text{ мм}^2$;
- об'єм лічильної камери $0,9 \text{ мм}^3$.

Тестові відеозображення було отримано за допомогою вказаних тестових об'єктів вимірювань, що розташовані в полі зору цифрової відеокамери мікроскопа з відхиленням сторін лічильної сітки від вертикалі на $30...45^\circ$. Такий нахил дозволяє отримати для різних рядків відеозображення різні варіанти взаємного розташування краю об'єкта вимірювань і центрів дискретних точок відеозображення. Це, в свою чергу, дозволяє отримати

похибки, обумовлені дискретністю, з всього можливого діагнозу їх значень. Таким чином, підвищується достовірність результатів експериментальних досліджень.

Порівнюючи результати теоретичного розрахунку похибок вимірювань ГПФ та характеристики тестових об'єктів вимірювань, можна зробити висновок, що точність тестового відеозображення відповідає вимогам проведення експерименту.

Для експериментальних досліджень використовувалися такі технічні засоби з наступними параметрами: поточне збільшення мікроскопу MICROS MC-200 складало $400\times$, розмір цифрового відеозображення у відеокамері САМ-2800 – 640×480 дискретних точок.

На цих відеозображеннях вимірювалися координати точок контуру тестових об'єктів вимірювань і їх лінійні розміри. Далі виконувалася статистична обробка результатів вимірювань для послідовності відеозображень одного тестового об'єкту тривалістю 100 кадрів. На основі результатів статистичної обробки визначалися характеристики випадкової складової частини похибки вимірювань ГПФ. Для статистичної обробки використовувалися теоретичні положення, наведені в [4, 5].

Спочатку виконувалася статистична обробка результатів вимірювання координат точок контуру тестових об'єктів. На основі всієї послідовності відеозображень для кожного рядка відеозображення розраховувалися математичне очікування і дисперсія:

$$M(x_{km}^*) = \frac{1}{L} \sum_{n=1}^L x_{knm}^*$$

$$D(x_{km}^*) = \frac{1}{L} \sum_{n=1}^L (x_{knm}^* - E(x_{km}^*))^2,$$

де x_{knm}^* – результат вимірювання горизонтальної координати контуру в m -му рядку n -го зображення;

L – кількість відеозображень у послідовності,

n – номер зображення у послідовності ($n = 1, 2, \dots, L$);

m – номер рядка зображення ($m = 0, 1, \dots, V-1$).

Далі виконувалося обчислення середніх значень дисперсії для сукупності всіх можливих значень координат, тобто для всіх рядків зображення:

$$D(x_k^*) = \frac{1}{V} \sum_{m=0}^{V-1} D(x_{km}^*),$$

$$\sigma(x_k^*) = \sqrt{D(x_k^*)}.$$

Середньоквадратичне відхилення $\sigma(x_k^*)$ результатів вимірювання координат точок контуру – це і є в даному випадку середньоквадратичне значення випадкової складової частини похибки вимірювання координат.

Середнє значення математичного очікування для всіх рядків не розраховувалася, так як воно не має сенсу, тому що тестовий об'єкт розташований з нахилом $30...45^\circ$ і його горизонтальна координата змінюється від рядка до рядка.

Потім виконувалася статистична обробка результатів вимірювання лінійних розмірів тестових об'єктів. На відміну від горизонтальної координати ширина тестових об'єктів повинна мати постійне значення для всіх рядків відеозображення. Тому для відстані по горизонталі параметри абсолютної похибки визначилися таким чином:

$$M(d^*) = \frac{1}{L \cdot V} \sum_{m=0}^{V-1} \sum_{n=1}^L d_{nm}^*$$

$$D(d^*) = \frac{1}{L \cdot V} \sum_{m=0}^{V-1} \sum_{n=1}^L (d_{nm}^* - E(d^*))^2$$

$$\sigma(d^*) = \sqrt{D(d^*)}$$

де d_{nm}^* – значення відстані по горизонталі в m -му рядку n -го відеозображення (за результатами вимірювань).

Середньоквадратичне відхилення $\sigma(d^*)$ результатів вимірювання лінійних розмірів – це і є даному випадку середньоквадратичне значення випадкової складової частини похибки вимірювання лінійних розмірів. Систематична складові частини похибки дорівнює нулю, так як ці розміри визначаються як різниця координат двох контурних точок об'єкту вимірювань і систематичні складові частини похибок визначення координат цих точок взаємно компенсуються.

Для оцінки закону розподілу похибки вимірювань координат і лінійних розмірів розраховувалися коефіцієнт асиметрії β_1 і коефіцієнт ексцесу β_2 .

Відповідно до [5]

$$\beta_1 = \frac{\mu'_3}{(\sigma_{\text{ГПФ}})^3}, \beta_2 = \frac{\mu'_4}{(\sigma_{\text{ГПФ}})^4}$$

де μ'_3, μ'_4 – третій і четвертий центральний моменти похибки вимірювань ГПФ;

$\sigma_{\text{ГПФ}}$ – середньоквадратичне значення цієї похибки.

В [5] також наведена діаграма, яка дозволяє визначити закон розподілу випадкової величини на основі розрахованих коефіцієнтів асиметрії і ексцесу.

Імовірнісні характеристики похибок вимірювань ГПФ, отримані на основі експериментальних досліджень, і їх порівняння з результатами теоретичного розрахунку наведено на рис. 1.

Результатами експериментальних досліджень підтверджено вірогідність розроблених математичних моделей і методики розрахунку похибок вимірювань ГПФ. Розбіжність результатів розрахунку за розробленою методикою і результатів експериментальних досліджень складає 12% для максимального значення і 20% для середньоквадратичного значення похибки.

В більшості цифрових відеокамер використовується стиснення цифрових відеозображень, що формуються відеокамерою. Це забезпечує більш раціональне використання об'єму запам'ятовуючих пристроїв та підвищення швидкості введення таких відеозображень в ЕОМ. Оскільки методи стиснення, що використовуються для цього, приводять до втрати частини цифрових даних відеозображення, постає питання про вплив стиснення на точність вимірювань ГПФ.

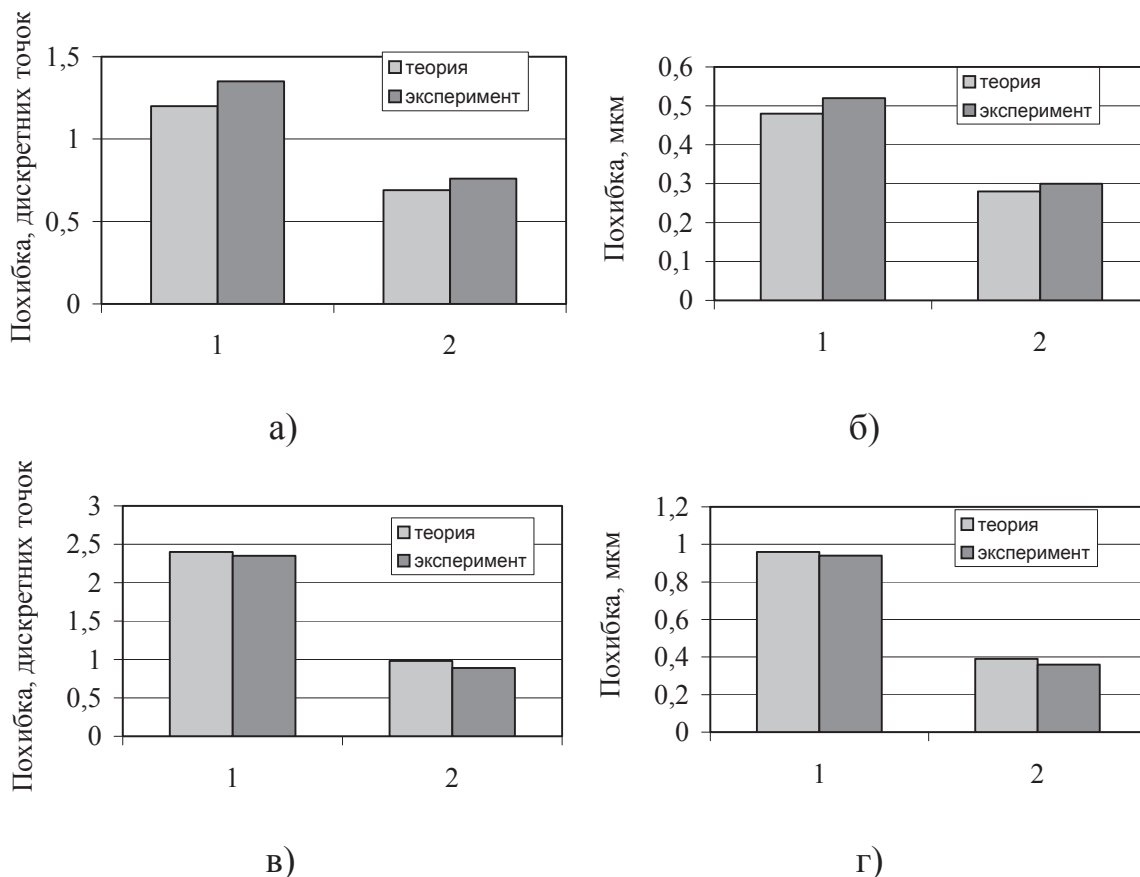


Рисунок 1. Випадкова складові частини похибки вимірювань ГПФ (відеозображення фітопланктону, отримані за допомогою цифрової відеокамери та сегментації за порогом яскравості):

а), б) координати точок контуру; в), г) лінійні розміри; по горизонталі 1 – максимальне значення похибки, 2 – середньоквадратичне значення

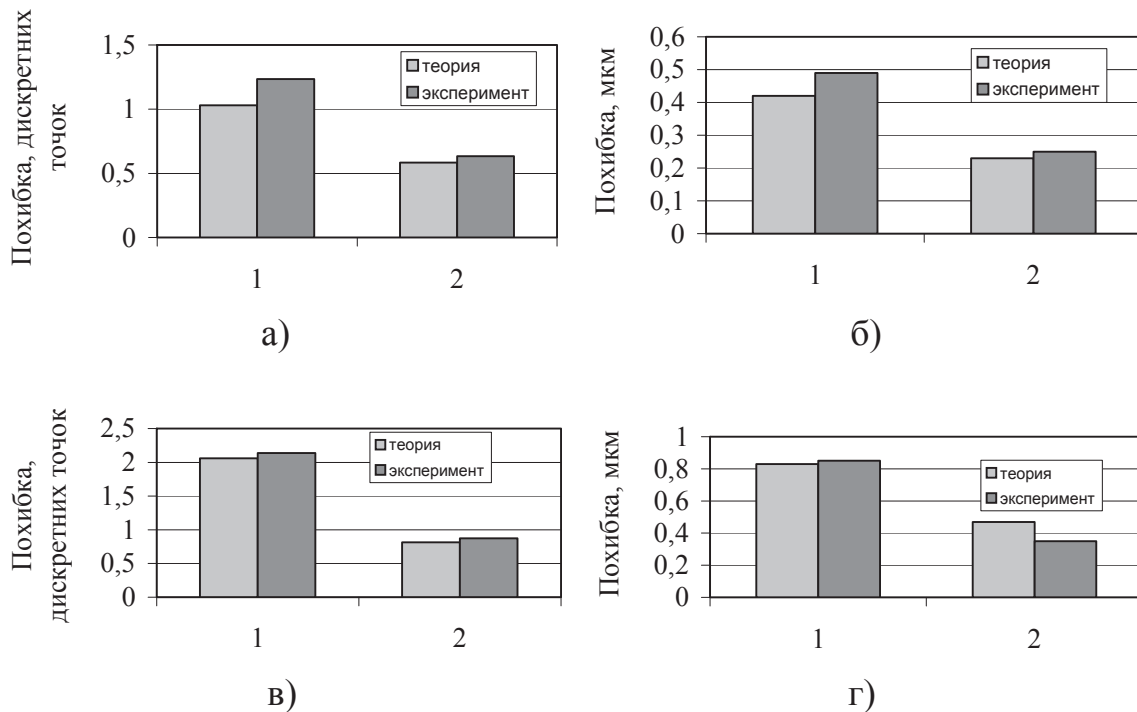
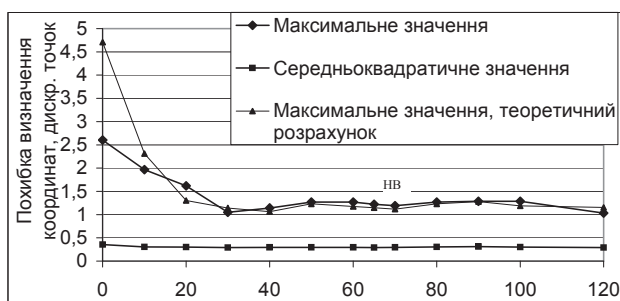


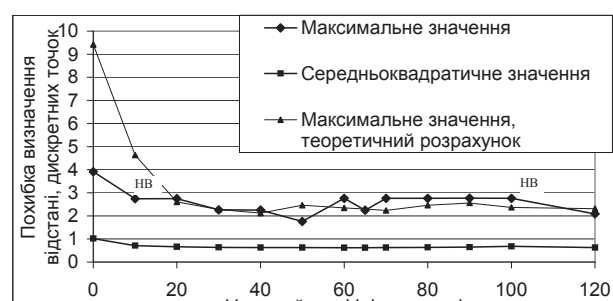
Рисунок 2. Випадкова складова частина похибки вимірювань ГПФ (кольорові відеозображення фітопланктону, отримані за допомогою цифрової відеокамери та сегментації на основі ШНМ): а), б) координати точок контуру; в), г) лінійні розміри; по горизонталі 1— максимальне значення похибки, 2 — середньоквадратичне значення

Для підвищення швидкодії автоматизованої системи для вимірювань ГПФ також доцільним є стиснення відеозображень в цифровій відеокамері. Таке стиснення базується на дискретному косинусному перетворенні. Цифрові відеозображення та їх послідовності зберігаються в стиснутих форматах JPEG та MJPEG. Результати експериментальних досліджень впливу

стиснення на точність вимірювань ГПФ наведено на рис. 3. Отримані результати свідчать про можливість та доцільність використання стиснутого формату відеозображень в цифровій відеокамері. Але при цьому спостерігається незначне збільшення похибки в допустимих межах відносно результатів, наведених на рис. 1 та 2 (при стисненні в 25...30 разів).



а) похибка визначення координат



б) похибка визначення лінійних розмірів

Рисунок 3. Результати експериментального дослідження похибок вимірювань відеозображення у відсотках; НВ — нестиснуте відеозображення

Висновок

Результати експериментальних досліджень похибок вимірювань геометричних параметрів підтверджують вірогідність математичних моделей даних

похибок. Розбіжність результатів розрахунку на основі математичних моделей і результатів експериментальних досліджень складає 12 % для максимального значення похибки і 20 % для середньоквадратичного значення. Підтверджено ефективність заходів по

зменшенню похибок вимірювань та ідентифікації фітопланктону за рахунок використання алгоритмічної обробки виміральної інформації і штучних нейронних мереж.

Література

1. Щербак В.І. Методи досліджень фітопланктону // Методичні основи гідробіологічних досліджень водних екосистем. – К., 2002. – С. 41-47.

2. Константинов А.С. Общая гидробиология. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1979. – 480 с.
3. Кумсаре А.Я. Расчет биомассы фитопланктона по суммарному объему клеток // Рыб. хоз-во Латвийской ССР. – Рига: Зинатие. – 1963. – Вып. 7. – С. 67–73.
4. Вазан М. Стохастическая аппроксимация. – М.: Мир, 1972.
5. Хан Г., Шапиро С. Статистические модели в инженерных задачах: Пер. с англ. – М.: Мир, 1969. – 396 с.