

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ФІТОПЛАНКТОНУ ЗА ВІДЕОЗОБРАЖЕННЯМИ ПРОБ ВОДИ З ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ

Розроблено методику розрахунку та заходи підвищення точності вимірювань геометричних параметрів фітопланктону, що виконуються автоматизованою системою для проб води з водойм господарсько-побутового призначення. Розрахунок проводиться на основі параметрів технічних засобів і параметрів алгоритмів обробки виміральної інформації. Результати розрахунку є основою для підвищення точності вимірювань цих параметрів.

Ключові слова: геометричні параметри, фітопланктон, відеозображення

O.M. BEZVESYLNAYA

Національний технічний університет України «КПІ»

YU.O. PODCHASHINSKIY, T.O. ELNIKOVA, YU.O. SHAVURSKIY

Житомирський державний технологічний університет

INCREASE OF ACCURACY MEASUREMENTS OF PHYTOPLANKTON GEOMETRICAL PARAMETERS FOR VIDEO IMAGE OF WATER SAMPLES FROM WATER OBJECTS

In article is developed a technique of calculation and measures of accuracy of measurements of geometric parameters of phytoplankton. These measurements are executed in an automated system for tests of water from reservoirs of domestic assigning. The calculation is based on parameters of technical equipment and parameters of algorithms of processing of the measuring information. The outcomes of calculation are the basis for increase of accuracy of measurement of these parameters.

Keywords: geometrical parameters, phytoplankton, videoimage.

Постановка задачі

Розвиток фітопланктону у водоймах, тобто продукування органічної речовини під дією ряду природних та штучних факторів, є однією з серйозних екологічних проблем. Найбільш інтенсивно розвиток фітопланктону протікає у водосховищах та інших водоймах господарсько-побутового призначення, що мають обмежену циркуляцію води. Наслідком цього процесу є суттєве погіршення якості питної води та значне підвищення загальної кількості токсичних речовин у воді. Тому розробка засобів вимірювань геометричних параметрів фітопланктону (ГПФ) в процесі його розвитку є актуальною науково-технічною задачею.

Результати вимірювань ГПФ та розрахунку його маси містять ряд похибок. Це пов'язане з тим, що в процесі формування, передачі і перетворення відеоінформації у виміральному каналі виникають похибки і викривлення, які мають вплив на точність вимірювань ГПФ та його біомаси. Вказані похибки пов'язані із загальними принципами перетворення візуальної інформації в цифрове відеозображення, з обраними характеристиками технічних засобів вимірального каналу, з параметрами алгоритмів обробки виміральної відеоінформації. Тому досить важливою частиною вимірювань ГПФ є розрахунок похибок цих вимірювань. Отримані результати можуть бути використані для підвищення точності вимірювань геометричних параметрів в автоматизованих інформаційно-вимірвальних системах.

Аналіз досліджень та публікацій

Питанням вимірювання геометричних параметрів присвячені роботи ряду відомих українських вчених, вчених близького та далекого зарубіжжя [1 – 6]. Однак в цих роботах відсутні відомості про вимірювання ГПФ на основі алгоритмічної обробки відеозображень, що містять вимірвальну інформацію про ці параметри.

Основною перешкодою для оперативного здійснення контролю за станом водойм є застарілі відомі методи вимірювання ГПФ, розрахунку його чисельності та маси [7, 8]. Висока працездатність, низька ефективність та швидкодія вказаних методів вимірювань не дозволяють швидко виявляти зміни, що відбуваються у розвитку ГПФ, та своєчасно реагувати на них. Тому виникла нагальна потреба в удосконаленні існуючих методів вимірювань та контролю за ГПФ.

Одним із ефективних методів вимірювань механічних величин є алгоритмічна обробка сигналів, які містять інформацію про об'єкт вимірювань. Пропонується для визначення ГПФ перетворювати візуальну інформацію про ГПФ у відеозображення і виконувати алгоритмічну обробку отриманих відеозображень. З цієї метою розроблено автоматизовану вимірвальну систему для визначення ГПФ та контролю за станом водойм господарсько-побутового призначення. Її застосування дозволить значно підвищити швидкодію та розширити функціональні можливості вимірювання геометричних параметрів та контролю за процесами розвитку фітопланктону у водоймах господарсько-побутового призначення.

Тому метою статті є розробка методики розрахунку точності вимірювань ГПФ. Ці вимірювання

виконуються автоматизованою системою для проб води з водойм господарсько-побутового призначення на основі відеозображень, що містять вимірювальну інформацію.

Викладення основного матеріалу дослідження

Перетворення відеоінформації в процесі вимірювань супроводжується виникненням похибок, які суттєво впливають на точність вимірювань ГПФ. Основними складовими частинами загальної похибки визначення координат об'єктів вимірювань (екземплярів фітопланктону) на цифровому відеозображенні є:

- похибка, обумовлена дискретною структурою перетворювача "світло-сигнал" (ПЗЗ-матриці) в пристрої формування відеозображень;
- похибка, обумовлена квантуванням по рівню амплітуди відеосигналу при перетворенні відеозображення в цифрову форму;
- похибки, пов'язані з шумом в пристрої формування відеозображень;
- викривлення форми відеосигналу через обмеження його смуги частот в електронних схемах.

Для визначення загальної похибки визначення координат об'єктів вимірювань необхідні такі дані про параметри складових частин автоматизованої системи:

- кількість дискретних елементів по горизонталі і вертикалі (крок дискретності) в перетворювачі "світло-сигнал" цифрової відеокамери та відповідний розмір цифрового відеозображення в дискретних точках;
- поточне збільшення оптичної системи мікроскопу;
- **кількість рівнів квантування амплітуди відеосигналу при перетворенні відеозображення в цифрову форму;**
- **рівень шумів (співвідношення сигнал-шум Ψ) цифрової відеокамери;**
- **верхня межа смуги частот відеосигналу.**

Загальна схема розрахунку похибок вимірювань ГПФ на відеозображеннях, що містять вимірювальну інформацію зображена на рис. 1.

Перерахунок похибки, обумовленої квантуванням амплітуди відеосигналу, і похибки, обумовленої шумом в цифровій відеокамері, в еквівалентне значення похибки визначення координат виконується на основі використання лінійної апроксимації перепадів яскравості на відеозображеннях [9].

Викривлення форми перепадів яскравості, що відповідають контурам об'єктів вимірювань, виникає через обмеження смуги частот відеосигналу в електронних схемах цифрової відеокамери та через обмеження, існуючі в оптичній системі.

При алгоритмічній обробці вимірювальної відеоінформації з метою визначення ГПФ та при розрахунку маси фітопланктону мають місце такі похибки:

- трансформована похибка, яка є наслідком похибки вимірювань координат об'єктів вимірювань (екземплярів фітопланктону);
- похибка методу обчислень, обумовлена використанням чисельних методів при розрахунках геометричних параметрів та маси фітопланктону;
- похибка виконання обчислень, пов'язана з обмеженою розрядністю цифрових даних в ЕОМ.

Для розрахунку загальної похибки визначення ГПФ та його маси використано дані про параметри складових частин автоматизованої системи і алгоритмів обробки вимірювальної інформації:

- загальна похибка вимірювання координат точок об'єктів вимірювань;
- формули і чисельні алгоритми, що використовуються для визначення ГПФ та його маси;
- особливості реалізації обчислювальних операцій, розрядність запам'ятовуваних і арифметичних пристроїв в ЕОМ або мікропроцесорі, які виконують обробку вимірювальної інформації.

Для визначення загальних похибок вимірювань на основі перерахованих складових частин використано такі методи обробки похибок:

- метод максимуму-мінімуму для визначення максимально можливого значення похибки (виконується арифметичне додавання максимально можливих значень складових частин загальної похибки);
- теоретико-ймовірнісний метод для визначення середнього і середньоквадратичного значення загальної похибки (виконується квадратичне додавання значень складових частин загальної похибки).

При дослідженні ГПФ основою є вимірювання координат та лінійних розмірів екземплярів фітопланктону, що наявні на відеозображенні.

Широке застосування інформаційно-комп'ютерної техніки призвело до створення різноманітних технічних засобів отримання цифрових відеозображень, що містять вимірювальну відеоінформацію [6, 10]. Ці засоби цілком здатні забезпечити отримання відеозображень проб води з фітопланктоном, розміщених у мікроскопі. Основними з цих засобів є цифрові фотоапарати та цифрові відеокамери. Вони можуть бути використані для формування цифрових відеозображень проб води.

Отримані таким чином відеозображення придатні до алгоритмічної обробки з метою визначення ГПФ та його маси. Саме ці показники є початковими даними для оцінки стану водойм господарсько-побутового призначення та прогнозування розвитку фітопланктону. Адже потенційні можливості фітопланктону до розмноження є досить високими, цей процес здатний дуже швидко виходити з під контролю та досягати катастрофічних масштабів. Стан водойм при цьому суттєво змінюється, що в кінцевому рахунку призводить до значного погіршення якості питної води. Виходячи з вищесказаного слід зауважити, що результати вимірювань ГПФ на відеозображеннях використовуються для вирішення багатьох

наукових і виробничих задач. Наприклад, важливою виробничою задачею є забезпечення якісного водопостачання населених пунктів. Це неможливо без контролю за процесами розвитку ГПФ у водоймищах, які використовуються для водопостачання населення.

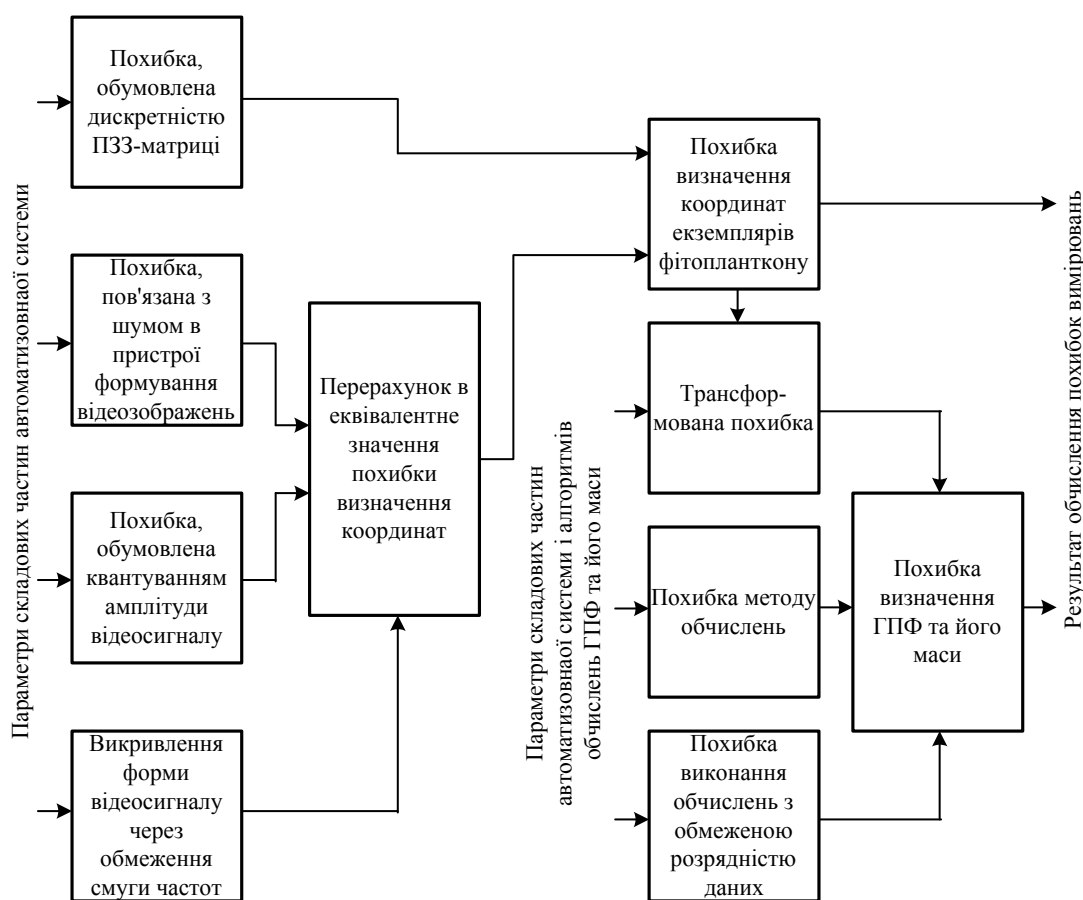


Рис. 1. Загальна схема розрахунку похибок вимірювань ГПФ

Серед технічних характеристик мікроскопу та відеокамери найважливішою є розподільча здатність та точність вимірювань ГПФ. В даному випадку розподільча здатність складається з оптичної розподільчої здатності оптичної системи мікроскопу та розподільчої здатності відеокамери, що обмежується кількістю дискретних точок в ПЗС-матриці.

Вимірювальний комплекс на основі мікроскопа з вбудованою відеокамерою має схему об'єктив-тубус-телевізійна камера. В такому випадку зображення від об'єктиву проектується безпосередньо на ПЗС-матрицю відеокамери.

Відомо, що розподільча здатність оптичної системи мікроскопа при спостереженні реальних об'єктів дорівнює

$$\delta_{oc} = \frac{\lambda}{2A},$$

де λ – довжина хвилі світла; A – чисельна апертура об'єктива мікроскопа.

Чисельна апертура дає уяву про максимальне ефективне збільшення при добутку на 1000, тобто про таке збільшення, при якому два суміжні об'єкти вимірювань ще відрізняються як окремі.

В мікроскопі Micros 200T, що використовується в автоматизованій системі, для видимого світла ($\lambda = 0,53$ мкм) та збільшення 400x ($A = 0,65$) маємо:

$$\delta_{oc} = \frac{0,53\text{мкм}}{2 \cdot 0,65} = 0,41 \text{ мкм}.$$

Визначимо розподільчу здатність відеокамери. При збільшенні 400x поле зору відеокамери по горизонталі H складає 250 мкм, а розмір ПЗС-матриці N дорівнює 640 дискретних точок. Тому розподільча здатність відеокамери:

$$\delta_{вк} = H / N = 250\text{мкм} / 640 = 0,39 \text{ мкм}.$$

Таким чином, характеристики оптичної системи мікроскопа та цифрової відеокамери в даному випадку є узгодженими між собою ($\delta_{вк} \approx \delta_{oc}$). Значення розподільчої здатності оптичної системи визначає мінімальну відстань між двома точками об'єктів вимірювань, для яких можуть бути зафіксовані різні значення координат в процесі вимірювань ГПФ. Значення розподільчої здатності відеокамери визначає

похибку дискретності, що має місце при вимірюванні лінійних розмірів екземплярів фітопланктону.

Максимальна похибка визначення лінійних розмірів фітопланктонних водоростей дорівнює ± 2 дискретні точки. При використанні мікроскопа MICROS MC-200 з вбудованою цифровою відеокамерою CAM-2800 і збільшенні $400\times$ це забезпечує точність вимірювань лінійних розмірів фітопланктонних водоростей $\pm 1,0$ мкм, час вимірювань ГП у одній пробі становить 5 секунд на відміну від відомих засобів вимірювань з похибкою ± 20 мкм та часом вимірювань до 30 хвилин. Дані, отримані в результаті вимірювань, використано для ідентифікації та розрахунку маси фітопланктону і визначення показників, що характеризують стан водойми.

Висновки

За результатами проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1. Згідно розрахунку, максимальна похибка визначення лінійних розмірів фітопланктону дорівнює близько ± 2 дискретні точки. При використанні мікроскопа MICROS MC-200 з вбудованою цифровою відеокамерою CAM-2800 і збільшенні $400\times$ це забезпечує точність вимірювань лінійних розмірів фітопланктону близько ± 1 мкм.

2. Основними напрямками зменшення похибок вимірювань ГПФ є:

- використання більш досконалих технічних засобів (зменшення похибки, обумовленої дискретною структурою перетворювача "світло-сигнал" та похибки виконання обчислень в ЕОМ);
- алгоритмічна обробка вимірювальної відеоінформації, в тому числі – фільтрація шумів та відновлення відеозображень після проходження через вимірювальний канал;

3. Таким чином, розроблено методику розрахунку точності вимірювань ГПФ. Ця методика дозволяє визначити точність результатів вимірювань в автоматизованій системі на основі параметрів технічних засобів і параметрів алгоритмів обробки вимірювальної інформації.

4. На основі даної методики також визначається склад технічних засобів автоматизованої системи для вимірювань ГПФ, що забезпечують потрібну точність вимірювань.

5. Отримані результати є основою для підвищення точності засобів вимірювань ГПФ, що базуються на двовимірній вимірювальній інформації (відеозображеннях). Ці результати можуть бути застосовані при розробці автоматизованих засобів вимірювань та інформаційно-вимірювальних систем, які використовують алгоритмічні методи обробки відеозображень і вимірювальної інформації.

Література

1. Измерительные сканирующие приборы / Под ред. Б.С. Розова. – М.: Машиностроение, 1980.–198с.
2. Сарвин А.А. Системы бесконтактных измерений геометрических параметров / А.А. Сарвин. – Л.: Издательство Ленинградского университета, 1983. – 144 с.
3. Растринин Л.А. Системы оучувствления промышленных роботов в ГПС / Л.А. Растринин. - М.: Наука, 1989. - 286 с.
4. Застрогин Ю.Ф. Прецизионные измерения параметров движения с использованием лазера / Ю.Ф. Застрогин. – М.: Машиностроение, 1986. – 272 с.
5. Поліщук Є.С. Засоби та методи вимірювань неелектричних величин: Підручник / Є.С. Поліщук, М.М. Дорожовець, Б.І. Стадник та ін.; за ред. проф. Є.С. Поліщука. – Львів: Бескид Біт, 2008. – 618 с.
6. Форсайт Д. Компьютерное зрение. Современный подход / Д. Форсайт, Д. Понс. – М.: Техносфера, 2005. – 840 с.
7. Андреев А.Д. Интегральная количественная оценка состояния фитопланктонного сообщества по структурным показателям / А.Д. Андреев, В.И. Щербак // Гидробиологический журнал. – 1994. – Т. 30, № 2. – С. 3-7.
8. Методичний посібник з визначення якості води / Під ред. В.І. Назаренка. – К., 2002. – 51 с.
9. Прэтт У. Цифровая обработка изображений: Пер. с англ. / У. Прэтт. – М.: Мир, 1982. – 480 с.
10. Шлихт Г.Ю. Цифровая обработка цветных изображений / Г.Ю. Шлихт. – М., Издательство ЭКОМ, 1997. – 336 с.

References

1. Izmeritelnye skanirujushchie pribory / Editor B.S. Rozov. – М.: Mashinostroenie, 1980. – 198 s.
2. Sarvin A.A. Sistemy beskontaktnykh izmerenij geometricheskikh parametrov / A.A. Sarvin. – L.: Izdatelstvo Leningradskogo universiteta. – 144 s.
3. Rastrigin L.A. Sistemy ochuvstvleniya promyshlennykh robotov v GPS / L.A. Rastrigin. - М.: Nauka, 1989. - 286 s.
4. Zastorogin Yu.F. Pretsizionnye izmereniya parametrov dvizheniya s ispolzovaniem lazera / Yu.F.Zastorogin. – М.: Mashinostroenie, 1986. – 272 s.
5. Polischuk E.S. Zasoby ta metody vymiryuvan neelektrychnykh velychyn / E.S. Polischuk, M.M. Dorozhovets, B.I. Stadnik etc.; Editor prof. E.S. Polischuk. – Lviv: Beskid Bit, 2008. – 618 s.
6. Forsait D. Computernoe zrenije. Sovremennyj podchod / D. Forsait, D. Pons. – М.: Techosfera, 2005. – 840 s.
7. Andreev A.D. Integralnaya kolichestvennaya otsenka sostoyaniya fitiplanktonnogo soobshchestva po strukturnym pokazateljam / A.D. Andreev, V.I. Scherbak // Gidrobiologicheskij zhurnal. – 1994. – Vol. 30, № 2. – P. 3-7.
8. Metodychnyj posibnyk z vyznachennja jakosti vody / Editor V.I. Nazarenko. – К., 2002. – 51 s.
9. Pratt W. Tsifrovaja obrebotka izobrazhenij / W. Pratt. – М.: Mir, 1982. – 480 s.
10. Schlicht G.Yu. Tsifrovaja obrebotka tsvetnykh izobrazhenij / G.Yu. Schlicht. – М., ЕКОМ, 1997. – 336 s.

Рецензія/Peer review : 9.7.2013 р. Надрукована/Printed :17.10.2013 р.