

**ВИМІРЮВАННЯ ВМІСТУ РОЗЧИНЕНОГО У ПРІСНІЙ ВОДОЙМІ
КИСНЮ****Ю. Г. ПІЛЬКЕВИЧ**, начальник відділу*Київський національний університет будівництва і архітектури*

E-mail: knuba2415452@gmail.com

Г. М. РОЗОРИНОВ, доктор технічних наук, професор*Національний технічний університет України "Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського"*

E-mail: hnroz@ukr.net

Т. М. ТКАЧЕНКО, доктор технічних наук, професор*Київський національний університет будівництва і архітектури*

E-mail: tkachenkoknuba@gmail.com

<https://doi.org/10.31548/dopovidi2021.02.003>

Анотація. Класичні методи і засоби контролю параметрів біоти прісних водойм мають низку істотних недоліків, до яких належать: несистематичність контролю інформаційно важливих параметрів; низька точність контролю параметрів; великий обсяг ручних операцій; необхідність знання математичних основ методу; погана інтерпретація результатів; необхідність використання допоміжного обслуговуючого персоналу.

Недоліки відомих методів можуть бути усунені під час автоматизованого способу отримання й обробки інформативних параметрів біоти прісних водойм.

Розроблена структурна схема процесу отримання відібраних для аналізу параметрів біоти і переважний алгоритм їх обробки.

Показано, що найбільш зручним для збору масового матеріалу про вміст розчиненого кисню у водоймі являється оптичний метод. Зіставлення синхронних вимірів оптичним і електрохімічним датчиками показало істотне заниження вмісту розчиненого кисню електрохімічним датчиком у порівнянні з оптичним. Оптичний метод виміру вмісту розчиненого у воді кисню ґрунтований на знаходженні часу й інтенсивності флуоресценції чутливої мембрани по емпіричному співвідношенню. Молекули розчиненого кисню зменшують час і інтенсивність флуоресценції мембрани, створеної з ретельно відібраних хімічних елементів. Абсолютна концентрація може бути визначена після лінеаризації і термокомпенсації, що виконується за допомогою вбудованого датчика температури води.

Ключові слова: біота, кисень, оптичний датчик, прісна водойма, екологічний стан

Актуальність. Для життя риб і інших водних тварин особливо велике значення має розчинений у воді кисень. Кисень частково проникає у

Пількевич Ю. Г., Розорінов Г. М., Ткаченко Т. М. воду з атмосфери, частково виділяється в самій водоймі в результаті життєдіяльності рослинних організмів. За допомогою хлорофілу зелені рослини витягають із вуглекислого газу необхідний для побудови живої речовини вуглець, виділяючи в навколишній простір кисень. Цей процес фотосинтезу протікає завдяки енергії сонячних променів тільки у світлий час доби. Проникненню кисню у воду з атмосфери сприяють вітер, течії, атмосферні опади, різкі зміни температури й інші причини, що посилюють перемішування шарів води.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Частина розчиненого у воді кисню витрачається на дихання тварин, але особливо багато цього газу витрачається на окислення органічних речовин, які поступово мінералізуються за участю бактерій [1, 2].

За значного зменшення кількості розчиненого у воді кисню фізіологічний стан риб погіршується. Коли кисню залишається зовсім мало, виникає замор, і риби гинуть від задухи. З числа ставкових риб найбільш чутлива до браку кисню форель. Менш чутливий короп (він іноді переносить навіть повне, але короткочасне зникнення розчиненого кисню). Легко переносить брак кисню карась, що виживає навіть, в таких водоймах, де вміст кисню падає взимку майже до нуля [3].

У водоймах, сильно забруднених органічними речовинами, вода яких до того ж багата солями сірчаної кислоти (сульфатами), може з'явитися, отруйний для риб і інших водних тварин газ – сірководень. Він виникає лише за браком кисню за участю особливих бактерій.

Вуглекислий газ накопичується в результаті дихання водних організмів, а головне – у результаті окислення органічних речовин. Тому надлишок вуглекислого газу свідчить про значне забруднення водойми органічними речовинами.

Кислотність або активну реакцію води зазвичай виражають в умовних одиницях (негативний логарифм концентрації іонів водню), означаючи її латинськими буквами рН. Коли реакція води нейтральна, тоді величина рН дорівнює 7; вода з лужною реакцією має рН більше 7, а з кислою – менше 7. Для цілей рибоводів краще всього використати воду з нейтральною або слаболужною реакцією (рН 7–8), в крайньому випадку – із слабокислою реакцією (рН 6–7).

Кількість органічних речовин зазвичай оцінюється за так званою окислюваністю води, яка показує, скільки міліграм кисню необхідно витратити в строго певних умовах на руйнування органічних речовин, поміщених в 1 л води. Саме по собі підвищення окислюваності води безпечно для риби, а до відомих меж навіть корисно, оскільки водночас

Пількевич Ю. Г., Розорінов Г. М., Ткаченко Т. М.
 зазвичай збільшується продуктивність водойм. Органічні речовини, які утворюються в самій водоймі, або заносяться в нього стоками з полів, садиб, або виділяються птахами, тваринами, людиною, містять деякі елементи і з'єднання, необхідні для розвитку усіх живих істот. До числа таких елементів належать насамперед азот і фосфор. Достаток органічних речовин, що містять ці елементи, забезпечує розвиток водних тварин і рослин. Але коли органічних речовин накопичується надто багато, тоді різко погіршується кисневий режим водойми аж до виникнення умов замору.

Метою роботи є аналіз параметрів біоти прісних водойм, у тому числі вимірювання вмісту розчиненого у прісній водоймі кисню та створення умов покращення її екологічного стану.

1. Характеристика видів риб

Види риб		Природна кормова база	Рибопродуктивність, кг/га
	Білий товстолобик	Фітопланктон (рослинний)	300
	Строкатий товстолобик	Зоопланктон (тваринний)	100
	Короп	Бентос (донні організми)	200
	Білий амур	Водна рослинність	100
	Судак	Дрібна риба	100

Методи. У риб за місцем мешкання і відношенню до навколишніх умов виділяють такі екологічні групи: прісноводні прохідні, солоноватоводні й морські. Прісноводні риби (близько 8,3 тис. видів) усе життя проводять у прісній воді. Поміж них виділяють:

– реофільні, що мешкають у текучій воді (форель, харіус, маринка);

– лімnofільні, що віддають перевагу стоячим водоймам (карась, лин, червонопірка);

– загальнопрісноводні, такі, що мешкають, як в стоячій, так і в текучій воді (осетер, щука, окунь, плітка, густера, синець).

У внутрішніх водоймах формування поголів'я вирощуваної риби в основному складається з таких видів, як білий і строкатий товстолобик, короп, білий амур, судак (табл. 1, 2).

2. Характеристика карпа

Карп – основний об'єкт ставкового рибництва		
	Лускатий	Теплолюбна риба, добре росте за температури 22–29°C. Харчується донними організмами і штучними кормами. Розмножується за температури 16–20°C. Дозріває у віці 4–5 років. Плодючість 450–900 тис. ікринок. Максимальна довжина тіла 100 см, маса 20 кг (до 45 кг). Карп мінливий за формою тіла, забарвленням, характером лускатого покриву. Порівняно зі звичайним типом (лускатий) можуть бути розкиданими, лінійними і голими.
	Розкиданий	
	Лінійний	
	Голий	

Кисень у водоймах утворюється за рахунок фотосинтезу мікроводоростей у денний час, а вночі усі живі організми його інтенсивно поглинають. У ставковому господарстві і у басейнах, де містяться риби, бажано застосовувати штучну аерацію води. Вміст розчиненого у воді кисню залежить від її температури. Так, за температури 1°C рівноважні концентрації кисню у воді складають 14,3 мг/л, за 5°C – 12,8; за 10°C – 11,3; за 15°C – 10,0; за 20°C – 9,0; за 25°C – 8,2 і за 30°C – 7,4 мг/л. За температури води, близької до замерзання, рівень насиченості киснем у два рази вище, ніж за 30°C. В умовах дефіциту кисню знижується виживаність і швидкість зростання молоді риб.

Водна маса у водоймі не однорідна по глибинах і по площах, застійні зони можуть сильно відрізнятися від областей з високою проточністю. Як показує статистика,

близько 90 % усіх випадків загибелі риби в рибгоспах викликано порушеннями кисневого режиму, 5 % є наслідком токсикозу, і 5 % викликане захворюваннями. Концентрація кисню в природних водоймах зазвичай коливається протягом доби. Найнижчий вміст – рано вранці, коли рослини у водоймі ще не почали виробляти кисень, а запаси його за ніч скоротилися.

Найбільш чутливі до кисню холодноводні риби: лососеві, сигові, осетрові, а також окунь, судак, інші хижі риби. Найменш вимогливі – карась, лин, короп. Зона фізіологічного комфорту для більшості видів риб – від 70 % до 100 % від нормального насичення. Якщо вміст кисню нижчий, риба гірше росте, менш продуктивно використовує корми, знижується її фізіологічна активність.

Усі риби також чутливі до змін температури. Температура води

Пількевич Ю. Г., Розорінов Г. М., Ткаченко Т. М. сприймається рибами за допомогою терморецепторів (вільних нервових закінчень), розташованих у поверхневих шарах шкіри. Невеликі відхилення в температурі води можуть змінити шляхи міграцій і терміни нересту риб. Кісткові риби здатні розрізняти перепади температур у $0,4^{\circ}\text{C}$. У більшості риб температура тіла близька до температури довкілля і на $0,5 - 1^{\circ}\text{C}$ вище за температуру води.

Класичні методи і засоби контролю параметрів біоти прісних водойм мають низку істотних недоліків [4]:

- несистематичністю контролю інформаційно важливих параметрів;
- низькою точністю контролю параметрів;

- великим об'ємом ручних операцій;
- необхідністю знання математичних основ методу;
- поганою інтерпретуємістю результатів;
- необхідністю використання допоміжного обслуговуючого персоналу.

Результати. Недоліки відомих методів можуть бути усунені при автоматизованому способі отримання і обробки інформативних параметрів біоти прісних водойм [5, 6].

На рис. 1 показана структурна схема процесу отримання відібраних для аналізу параметрів біоти і переважний алгоритм їх обробки.

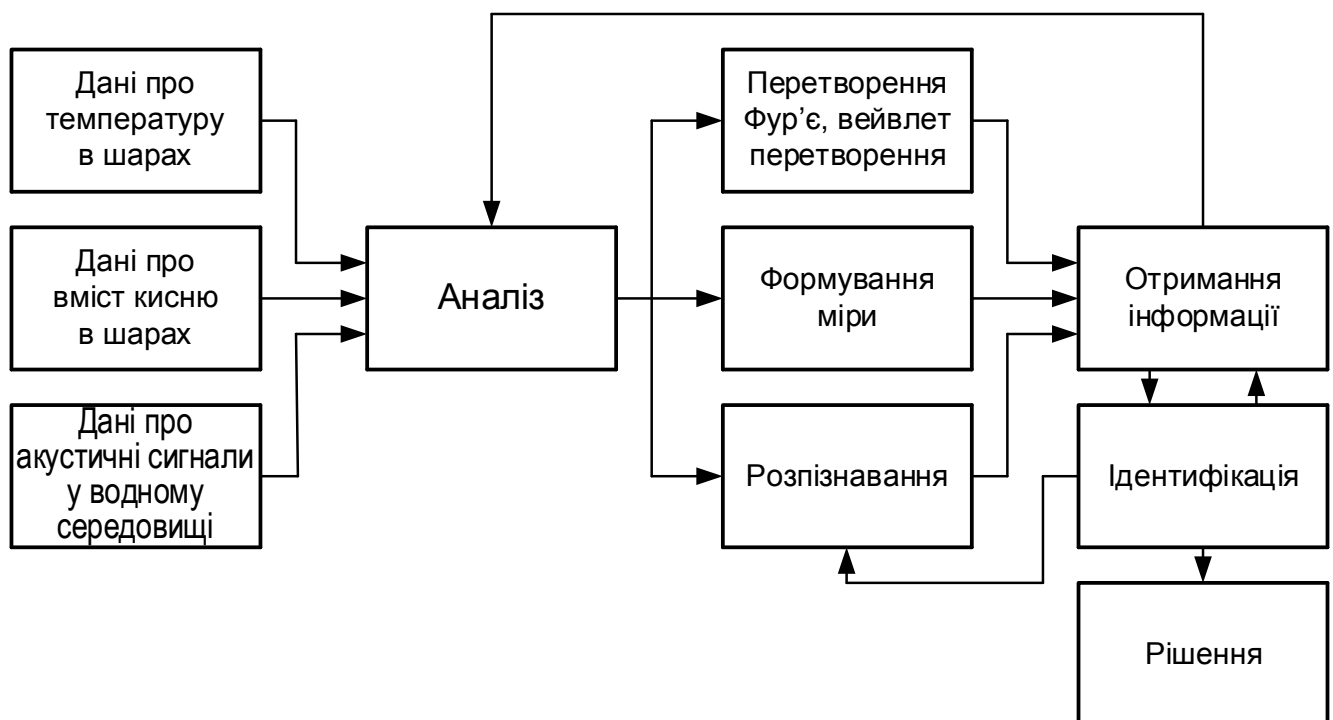


Рис. 1. Загальна схема моніторингу стану біоти водойми

Пількевич Ю. Г., Розорінов Г. М., Ткаченко Т. М.

У процесі моніторингу виділяють завдання обробки даних, власне завдання отримання інформації і завдання управління процесом виміру і видачі рекомендацій на управління біотою водойми.

Найбільш зручним для збору масового матеріалу щодо вмісту розчиненого кисню у водоймі являється оптичний метод. Зіставлення синхронних вимірів оптичним і електрохімічним датчиками показало істотне заниження вмісту розчиненого кисню електрохімічним датчиком у порівнянні з оптичним [7]. Водночас кращою збіжністю з методом Винклера характеризувалися результати вимірів саме оптичним датчиком.

Оптичний метод виміру вмісту розчиненого у воді кисню

грунтований на знаходженні часу і інтенсивності флуоресценції чутливої мембрани по емпіричному співвідношенню. Молекули розчиненого кисню зменшують час і інтенсивність флуоресценції мембрани, створеної з ретельно підібраних хімічних елементів. Якщо у пробі води немає молекул кисню, то час і інтенсивність флуоресценції максимальні. Якщо розчинений кисень є присутнім поблизу чутливого елементу, то час і інтенсивність флуоресценції стає менше. Тобто параметри флуоресценції обернено пропорційні концентрації розчиненого кисню. Співвідношення між парціальним тиском розчиненого кисню зовні датчика й часом або інтенсивністю флуоресценції чутливого шару визначається рівнянням Штерна-Фольмера [8]:

$$\frac{I_0}{I} = 1 + k_q \tau_0 [Q] = 1 + K_{\text{дин}} [Q], [Q],$$

де I_0, I – інтенсивність флуоресценції у відсутність і у присутності молекул O_2 , k_q – коефіцієнт "гасіння", τ_0 – час флуоресценції чутливого шару, $[Q]$ – концентрація "гасителя", $K_{\text{дин}} [Q]$ – константа "гасіння".

Проте, рівняння Штерна-Фольмера не строго лінійно за високих значеннях концентрації кисню, тому коригується в сучасних приладах. Погрішність методу складає 1% в діапазоні від 0 до 200% насичення води киснем.

Разом з тим відсутні відомості про розподіл концентрації кисню у водних шарах по глибині водойми, що не дає змогу охарактеризувати його кисневий режим. Завдання ускладнюється у зв'язку з впливом безлічі чинників, а також характером водообміну, у тому числі наявністю ґрунтових, джерельних вод, вітру, тощо.

Для побудови підсистеми кисневого режиму з урахуванням експертних оцінок фахівців досить контролювати розчинений кисень в

Пількевич Ю. Г., Розорінов Г. М., Ткаченко Т. М. трьох місцях: по площі водойми і в двох точках по глибині, а саме: на відстані 20...25 см від поверхні і 50...100 см від дна водойми. Водночас також можна поставити вимоги до точності датчика температури. Абсолютна похибка має бути не більше 0,1°C.



Як датчик розчиненого кисню раціонально обрати високоточний датчик типу 3830 (рис. 2). Базуючись на оптичних принципах, датчик дає змогу забезпечити тривалі безперервні вимірювання з високою стабільністю й точністю на глибинах до 6000 м.



Рис. 2. Загальний вигляд датчика розчиненого кисню 3830

Датчик дає змогу контролювати вміст кисню у водоймах, де насиченість киснем має відповідати таким вимогам:

- у мілководних прибережних районах зі значною наявністю водоростей;
- у затоках або інших районах з обмеженим обміном водних мас;
- у водоймах рибоводів;
- у районах демпінгу промислових відходів або породи в результаті днопоглиблювальних робіт.

Оптичний датчик розчиненого кисню 3830 базується на здатності

деяких речовин до динамічного гасіння флуоресценції. Флуоресцентним індикатором є спеціальна платиново–порфірин система, вмонтована в газопроникну мембрану, на яку впливає водна маса. Ця чутлива мембрана прикріплена до сапфірового віконця, що забезпечує оптичний доступ ззовні до системи вимірювань всередині водонепроникного титанового корпусу. Реєстрована в червоній області спектра інтенсивність випромінювання мембрани, що збуджується під впливом модульованого синього світла,

Пількевич Ю. Г., Розорінов Г. М., Ткаченко Т. М.
залежить від кількості розчиненого
кисню (рис. 3).

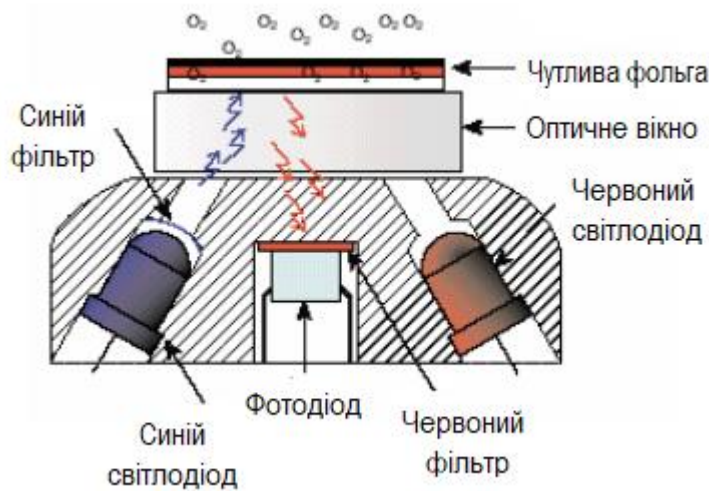


Рис. 3. Вимірювальна схема датчика розчиненого кисню 3830

Абсолютна концентрація може бути визначена після лінеаризації й термокомпенсації, що виконується за допомогою вбудованого датчика температури води.

Висновки:

1. Наведені екологічні групи риб за місцем мешкання і відношенню до навколишніх умов.

Список використаних джерел

1. Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации: монографія. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. 463 с.

2. Водяницький О.М., Потрохов О.С., Зінковський О.Г. Репродуктивні властивості краснопірки за дії екологічних чинників. *Наукові записки Тернопільського нац. пед. ун-ту ім. В. Гнатюка. Серія "Біологія"*. 2015. Вип. 3/4 (64). С. 96–99.

3. Водяницький О.М., Прімачов М.Т., Гриневич Н.Є. Вплив температурного та кисневого режимів водного середовища на виживаність та розвиток коропових риб. *Науковий вісник НУБіП України. Серія: Біологія, біотехнологія, екологія*. 2016. Вип. 234. С. 70–78.

4. Хижняк М.І., Євтушенко М.Ю. Методологія вивчення угруповань водних

2. Розроблена структурна схема процесу отримання відібраних для аналізу параметрів біоти й переважний алгоритм їх обробки.

3. Обґрунтований вибір датчиків кисню для прісних водойм, що забезпечує тривалі безперервні вимірювання з високою стабільністю й точністю.

організмів: навчальний посібник. Київ: Український фітосоціологічний центр, 2014. 269 с.

5. Соломичев Р.И. Разработка математической модели измерителя. *Известия Южного федерального ун-та. Технические науки*. 2013. №5 (142). С. 75 – 96.

6. Ларин В.Ю., Ларина Е.Ю., Савицкая Я.А., Розоринов Г.Н., Федоров Е.Е., Чичикало Н.И. Концепции профессионального проектирования приборов и систем: учебник: в 2-х книгах. Книга 1. Киев: Кафедра, 2016. 468 с.

7. Эдельштейн К.К. Гидрология озер и водохранилищ: монографія. Москва: Перо, 2014. 399 с.

8. Лакович Дж. Основы флуоресцентной спектроскопии. Пер. с англ. Москва: Мир, 1986. 496 с.

References

Пилькевич Ю. Г., Розорінов Г. М., Ткаченко Т. М.

1. Shitikov, V.K., Rozenberg, G.S., Zinchenko, T.D. (2003). Kolichestvennaya gidroekologiya: metody sistemnoy identifikatsii [Quantitative hydroecology: methods of system identification]. Toliyatti, Russia: IEVB RAS, 463.

2. Vodyanitskiy, O.M., Potrokhov, O.S., Zin'kovskiy, O.H. (2015). Reproduktyvni vlastyivosti krasnopirky za diyi ekologichnykh chynnykiv [Reproductive properties of redeye for the actions of ecological factors]. The Scientific Issues of Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University. Series: biology, 3/4 (64), 96–99.

3. Vodyanitskiy, O.M., Primachov, M.T., Hrynevych, N.E. (2016). Vplyv temperaturnogo ta kysneвого rezhymiv vodnogo seredovyshcha na vyzyhanist' ta rozvytok koropovykh ryb [Influence of temperature and oxygen conditions of water environment on survivability and development of carp fishes]. Scientific bulletin of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine . Series: Biology, biotechnology, ecology, 234, 70–78.

4. Khyzhnyak, M.I., Yevtushenko, M.Yu. (2014). Metodologiya vyvchennya ugrupovan' vodnykh organizmiv [Methodology of study of groupments of water organisms]. Kyiv, Ukraine: Ukrainian phytosociological center, 269.

5. Solomichiev R.I. (2013). Razrabotka matematicheskoy modeli izmeritelya [Development of mathematical model of measuring device]. Izvestiya SFedU. Engineering Sciences, 5 (142), 75–96.

6. Larin V.Yu., Larina E.Yu., Savitskaya Ya.A., Rozorinov H.N., Fedorov E.E., Chichikalo N.I. (2016). Kontseptsii professional'nogo proektirovaniya priborov i sistem [Conceptions of the professional planning of devices and systems]. Book 1. Kyiv, Ukraine: Kafedra, 468.

7. Edel'shteyn K.K. (2014). Hidrologiya ozyer i vodokhranilishch [Hydrology of lakes and storage pools]. Moscow, Russia: Pero, 399.

8. Lakowicz J.R. (1986). Основы флуоресцентной спектроскопии [Principles of Fluorescence Spectroscopy]. Moscow, Russia: World, 496.

ИЗМЕРЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ РАСТВОРЕННОГО В ПРЕСНОМ ВОДОЕМЕ КИСЛОРОДА

Ю. Г. Пилькевич, Г. Н. Розорінов, Т. М. Ткаченко

Аннотация. Классические методы и средства контроля параметров биоты пресных водоемов имеют ряд существенных недостатков, к которым относятся: несистематичность контроля информационно важных параметров; низкая точность контроля параметров; большой объем ручных операций; необходимость знания математических основ метода; плохая интерпретация результатов; необходимость использования вспомогательного обслуживающего персонала.

Недостатки известных методов могут быть устранены при автоматизированном способе получения и обработки информативных параметров биоты пресных водоемов.

Разработана структурная схема процесса получения отобранных для анализа параметров биоты и преимущественный алгоритм их обработки.

Показано, что наиболее удобным для сбора массового материала о содержании растворенного кислорода в водоеме является оптический метод. Сопоставление синхронных измерений оптическим и электрохимическим датчиками показало существенное занижение содержания растворенного кислорода электрохимическим датчиком по сравнению с оптическим. Оптический метод измерения содержания растворенного в воде кислорода

Пількевич Ю. Г., Розорінов Г. М., Ткаченко Т. М.

основан на нахождении времени и интенсивности флуоресценции чувствительной мембраны по эмпирическому соотношению. Молекулы растворенного кислорода уменьшают время и интенсивность флуоресценции мембраны, созданной из тщательным образом подобранных химических элементов. Абсолютная концентрация может быть определена после линеаризации и термокомпенсации, которая выполняется с помощью встроенного датчика температуры воды.

Ключевые слова: биота, кислород, оптический датчик, пресный водоем, экологическое состояние.

MEASURING THE CONTENT OF OXYGEN DISSOLVED IN A FRESHWATER RESERVOIR

Yu. H. Pil'kevych, H. M. Rozorinov, T. M. Tkachenko

Abstract. Classic methods and controls of biota parameters of fresh reservoirs have a row of substantial defects to that belong: systematic uncharacter of control of informatively important parameters; subzero exactness of parameters control; large volume of hand operations; necessity of knowledge of mathematical bases of method; bad interpretation of results; need to use support staff.

The shortcomings of known methods can be corrected with an automated way of obtaining and processing the informative parameters of fresh water biota.

A structural scheme of the process of obtaining the selected parameters of the biota and the preferential algorithm of their processing have been developed.

It is shown that the most convenient for collecting mass material about the content of dissolved oxygen in the reservoir is the optical method. Comparison of synchronous measurements by optical and electrochemical sensors showed a significant underestimation of the dissolved oxygen content by an electrochemical sensor compared to the optical one. The optical method of measuring the content of oxygen dissolved in water is based on finding the time and intensity of fluorescence of the sensitive membrane by empirical ratio. Molecules of dissolved oxygen reduce the time and the intensity of membrane fluorescence, created from carefully selected chemical elements. An absolute concentration can be determined after linearization and thermocompensation, which is performed with the help of a built-in water temperature sensor.

Keywords: biota, oxygen, optical sensor, fresh reservoir, ecological state