



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 53684

(13) C2

(51) 7 G01N33/18

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) ВИМІРЮВАЛЬНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ТОКСИКОМЕТРИЧНОГО ЕКСПРЕС-АНАЛІЗУ ЯКОСТІ ВОДЯНОГО СЕРЕДОВИЩА

1

(21) 99084507

(22) 06 08 1999

(24) 17 02 2003

(46) 17 02 2003, Бюл. № 2, 2003 р.

(73) Акціонерне товариство "Науково-технологічний інститут транскрипції, трансляції і реплікації", Харківський державний медичний університет

(56) Мацкивский В.И. Общая структурная схема оперативного контроля качества водной среды с использованием биотестирования - В сб. научн. трудов Биологическое действие факторов окружающей среды - Харьков Харьковский гос. мед. ун-т, Харьковская гор. сан.-эпид. станция, 1996 - С. 9-13

(57) Вимірний комплекс для токсикометричного експрес-аналізу якості водного середовища, що містить вхідний пристрій, систему обробки інформації, вихідний пристрій, блок пробопідготовки і блок автоматики, причому вхідний пристрій містить первинний біологічний перетворювач, перетворювач неелектричних параметрів, вторинний перетворювач, стимулятор і блок життєзабезпечення біологічного тест-об'єкта, система обробки інформації містить компаратор, блок керування і міру, вихідний пристрій містить блок відображення і блок узгодження, блок пробопідготовки містить вимірну камеру реакції

2

з дозатором і каналами подачі біологічного тест-об'єкта і досліджуваної рідини, а блок автоматики містить виконавчі механізми й обмежувальні елементи, який відрізняється тим, що вимірний комплекс створено у вигляді двоканальної схеми з ідентично виконаними вхідними пристроями і системами обробки інформації, причому вхідні пристрої мають захисні екрани від впливу зовнішніх факторів як систематичних, так і випадкових, первинні біологічні перетворювачі складаються із суспензії біологічних тест-об'єктів, вміщених у вимірні камери реакції з заданими характеристиками, які контролюються у другому каналі порівняння, перетворювачі неелектричних параметрів встановлено безпосередньо поблизу біологічних тест-об'єктів, виходи перетворювачів неелектричних параметрів сполучено з вторинними перетворювачами електричних сигналів, стимулятори зв'язано з вимірними камерами реакції, а блок життєзабезпечення біологічного тест-об'єкта об'єднує два канали виміру - канал дослідження і канал порівняння, причому вимірні камери реакції в каналі дослідження й у каналі порівняння мають, відповідно, патрубки подачі контрольованої рідини й еталонної води, а системи обробки інформації в каналі дослідження й у каналі порівняння зв'язано синхронізатором

Вінахід відноситься до біології, медицини та екології, зокрема, до медико-біологічного приладобудування, до вимірних систем контролю якості води за узагальненими показниками токсичності, що оцінюються методами біотестування, і може бути використаний в системах біомоніторингу, екотоксикології і біотестування для оцінки токсичності природних і стічних вод, скринінгу біологічної активності препаратів і хімічних речовин

Відомий пристрій [1] вимірної системи біотестування, до складу якої входять біологічний тест-об'єкт, що розміщується у вимірній камері, яка постачена вторинними датчиками реєстрації

функціональних показників життєдіяльності тест-об'єкта, виходи цих датчиків з'єднано з підсилювачем і перетворювачем електричних сигналів. Останній, в свою чергу, з'єднано з блоком відображення інформації, яка подальше передається користувачу. Блок пробопідготовки водного середовища сполучено з вимірною камерою, а блок автоматики забезпечує координацію роботи усіх блоків. Функціонально вони сполучені таким чином, щоб забезпечити дозоване запровадження зразка водного середовища у вимірну камеру, куди подається з культиватора біологічний тест-об'єкт, і де проводиться інкубація його з досліджуваною водою певний

(13) C2

(11) 53684

(19) UA

інтервал часу. Після завершення інкубації роблять послідовний вимір функціонального показника біологічного тест-об'єкту для оцінки його стану у вимірювальній камері, а потім тим же вимірювачем оцінюється стан біологічного тест-об'єкту в камері контролю. Про ефект токсичності досліджуваного водяного середовища судять по зміні величини відношення вимірюваного функціонального показника в досліді та контролі. При перевищенні відгуку реакції біологічного тест-об'єкту деякого порогу, що встановлюється в попередніх дослідях з одержанням калібрувальних графіків відгуку для конкретного біологічного тест-об'єкту та досліджуваної хімічної речовини, роблять оцінку токсичності.

До недоліків цього приладу належить віднести неможливість оцінки параметричної чутливості біологічного тест-об'єкту в реальному масштабі часу, що знижує відтворюємість одержуваних результатів оцінки його функціонального показника,

працездатність проведення аналізу і низька точність оцінки токсичності, що пов'язано з необхідністю одержання калібрувальних графіків для конкретних хімічних речовин і стічних вод, що найчастіше мають невизначений склад,

значна динамічна помилка, яка пов'язана з ефектами метаболізму і наявністю добових біоритмів параметрів життєдіяльності біологічних тест-об'єктів.

У цьому зв'язку відомий пристрій [2] - автономна станція безупинного спостереження (АСБС) для автоматизованого контролю якості води за станом біологічних тест-об'єктів, із застосуванням первинного високочутливого біодатчика у вимірювальній системі АСБС. При цьому токсичність характеризують за ступенем негативного впливу досліджуваної води на біологічний тест-об'єкт, кількісно це відображається у відсотках відхилення величини робочого виміру від величини каліброваного виміру. Каліброване значення визначають після кожного робочого виміру і одержують його при вимірах із водою, що прийнята за еталон якості. Як правило, за еталон використовують міцєву питну воду.

АСБС функціонально включає такі блоки:

блок добору і подачі води (БДПВ), що забезпечує добір і подачу до блоку БПГ природної води з місця встановлення пробовідборного фільтру на водоймищі. До складу БДПВ входять елемент, що фільтрує, трубопровід, обсадна труба, занурений насос,

блок пробопідготовки і гідравліки (БПГ), у якому накопичується середньодобова проба, утворюється необхідна суміш з досліджуваної води та біологічного тест-об'єкту, далі ця суміш подається у вимірювальну камеру ВСБ і скидається в каналізацію після завершення процесу виміру. При одержанні сигналу перевищення токсичності води над заданим рівнем проба природної води в з'єднанні 2,0 літрів консервується. До складу БПГ входять проміжна ємність місткістю 50 літрів для прийому води, що подається насосом, мірна ємність, що забезпечує дозування частин середньодобової проби води, ємність накопичувальна місткістю 2 літри, у якій накопичується середньодобова проба, проміжна ємність місткістю 2 літри,

у якій витримується середньодобова проба в момент, коли частина її аналізується в ВСБ, насос, що перекачує проби води відповідно до алгоритму роботи АСБС, електроклапан, що регулює проток води по гідравлічній системі, пробороздатчик, що розподіляє пробу води по ємностях, ємності місткістю 2 літри для збереження проб води, що були відібрані, холодильники для охолодження проби води з метою кращого її зберігання, гнучкі трубки для потоку води, що з'єднують елементи гідравлічної системи між собою і з елементами інших систем,

вимірювальна система біотестування (ВСБ), що забезпечує вимір (через кожні 20 хвилин) токсичності природної води за її впливом на біологічний тест-об'єкт. Ступінь впливу оцінюється за зміною біотест-реакції респіраторної (при виключеному освітленні вимірювальної камери) і фотосинтезної активностей (при освітленні вимірювальної камери) мікроводоростей. У первинному перетворювачі біотест-реакції в електричний сигнал використовується срібно-платиновий кисневий електрод. До складу ВСБ входять бюсигналізатор, культиватор біологічного тест-об'єкту разом із лампою денного освітлення і реле часу для керування режимом освітлення, змішувальна ємність і ємність для промивної (каліброваної) води. Перемішування суміші проби води і мікроводоростей здійснюється повітрям від мікрокомпресора. Змішувальна ємність має штуцер переливу,

блок керування (БК) реалізує керування АСБС відповідно до заданого алгоритму автономного функціонування. Можливо напівавтоматичний режим при ручному доборі проби води, при цьому аналіз води проводиться за командою оператора,

блок комутації (БК) здійснює взаємозв'язок блоків і вузлів АСБС відповідно до сигналів керування та вимірів,

блок індикації і реєстрації результатів виміру (БІР) здійснює індикацію поточних результатів виміру в режимі "так-ні" за параметром "токсичність" і фіксацію результатів виміру на діаграмній стрічці самопису,

блок оповіщення і сигналізації (БОС) видає сигнал оповіщення і вмикає алармну сигналізацію,

блок живлення (БЖ) забезпечує всі необхідні напруги, що живлять блоки і вузли АСБС.

До хиб вказаного пристрою можна віднести неможливість одержання дозової залежності реакції фотосинтезної активності, а також подиху мікроводоростей від концентрації хімічних речовин або кратності їх розведення у водяному середовищі, що практично виключає можливість проведення токсикометричного аналізу в реальному масштабі часу без використання калібрувальних графіків,

недостатня точність і відтворюємість оцінки токсичності водяного середовища, тому що у відомому комплексі вимірювальної системи має місце значна динамічна помилка, що пов'язана з неконтрольованою динамікою зміни поточного функціонального стану біологічного тест-об'єкту,

неможливість оцінювання фундаментальної властивості біологічних систем, тобто вимірювання поточної характеристики параметричної чутливості функції життєдіяльності біологічного тест-

об'єкту в реальних умовах проведення токсикометричних досліджень.

Найбільш близьким до запропонованого вимірювального комплексу є вимірювальна система для токсикометричного експрес-аналізу водного Середовища [3], до складу якої входять: вхідний пристрій, система обробки інформації, вихідний пристрій, блок пробідопідготовки і блок автоматики. Причому вхідний пристрій містить первинний біологічний перетворювач, перетворювач неелектричних параметрів, вторинний перетворювач, стимулятор і блок життєзабезпечення біологічного тест-об'єкту. Система обробки інформації містить компаратор, блок керування і міру. Вихідний пристрій містить блок відображення і блок узгодження. Блок пробідопідготовки містить вимірювальну камеру реакції з дозаторами і каналами подачі біологічного тест-об'єкту та досліджуваної рідини, а блок автоматики містить виконавчі механізми і обмежувальні елементи.

До хиб даної вимірювальної системи варто віднести:

у відомій вимірювальній системі біотестування неможливо організувати синхронний контроль функціонального стану біологічного тест-об'єкта в контролі і у досліді з метою одержання відносного розміру параметру реакції біологічного тест-об'єкту на токсичний вплив;

велика тривалість проведення досліджень, тому що при оцінці функціонального стану біологічного тест-об'єкта необхідно використання калібрувальних графіків;

існує значна динамічна помилка в оцінці функціонального стану біологічного тест-об'єкта в умовах дії відповідних чинників, тому що не враховується показник параметричної чутливості і ефект, пов'язаний зі схованими і явними біоритмами, що визначають його життєдіяльність у реальному масштабі часу;

складність реалізації високоточної вимірювальної системи з результатами, що відтворюються, тому що технічні засоби, що входять до складу відомої вимірювальної системи біотестування, повинні володіти «жорсткими» метрологічними характеристиками.

В основу винаходу поставлена задача зниження динамічних помилок і підвищення відтворюємості аналізу в короткострокових дослідженнях біотестування з використанням диференціального й алгоритмічного методів підвищення точності вимірів функціонального стану біологічного тест-об'єкта.

Технічний результат, що може бути одержаний при використанні винаходу завдяки тому, що з'являється можливість створення комплексу вимірювальної системи біотестування для експрес-контролю токсичності природних і стічних вод, а також токсичності хімічних речовин або скринінгу їх біологічної активності з одержанням кількісних оцінок. При цьому в вимірювальній системі реалізується алгоритмічний метод підвищення точності оцінки функціонального стану біологічного тест-об'єкта в реальному масштабі часу без використання калібрувальних графіків.

Поставлена задача вирішується за рахунок того, що вимірювальний комплекс для токсикомет-

ричного експрес-аналізу якості водного середовища.

Слегка включає вхідний пристрій, систему обробки інформації, вихідний пристрій, блок пробідопідготовки і блок автоматики. Причому вхідний пристрій містить первинний біологічний перетворювач, перетворювач неелектричних параметрів, вторинний перетворювач, стимулятор і блок життєзабезпечення біологічного тест-об'єкту. Система обробки інформації містить компаратор, блоки керування і міру. Вихідний пристрій містить блок відображення і блок узгодження. Блок пробідопідготовки містить вимірювальну камеру реакції з дозаторами і каналами подачі біологічного тест-об'єкту та досліджуваної рідини, а блок автоматики містить виконавчі механізми й обмежувальні елементи. При цьому новим, відповідно до винаходу, є те, що вимірювальний комплекс виконано у двоканальному ідентичному виконанні вхідних пристроїв і систем обробки інформації, причому вхідні пристрої мають захисні екрани від зовнішніх чинників впливу як систематичних, так і випадкових, первинні біологічні перетворювачі складаються із суспензії біологічних тест-об'єктів, що знаходяться у вимірювальних камерах реакції із заданими характеристиками, які контролюються у другому каналі порівняння. Перетворювачі неелектричних параметрів установлені безпосередньо поблизу біологічних тест-об'єктів, виходи яких сполучено з вторинними перетворювачами електричних сигналів. Стимулятори пов'язано з вимірювальними камерами реакції, а блок життєзабезпечення біологічного тест-об'єкту з'єднує два канали виміру - канал дослідження і канал порівняння, при цьому вимірювальні камери реакції в каналі дослідження і у каналі порівняння мають, відповідно, патрубки подачі контрольованої рідини й еталонної води, а системи обробки інформації в каналі дослідження і у каналі порівняння пов'язані синхронізатором.

Ті вищевказані ознаки, що їх в запропонованому винаході використано, дозволяють досягти вирішення поставлених задач тому, що вимірювальний комплекс представлено у двоканальному ідентичному виконанні вхідних пристроїв і систем обробки інформації. Причому використання у вимірювальному комплексі диференціального й алгоритмічного методів підвищення точності вимірів характеристик біологічних тест-об'єктів забезпечує реалізацію експрес-контролю токсичності водного середовища методами біотестування. Тому що у вхідних пристроях присутні стимулятори, а в системах обробки інформації - блоки керування і міри, що пов'язані синхронізатором, поставлена задача може бути вирішена і технічно реалізована. З огляду на принципову важливість даної ознаки і неочевидність вищевказаного твердження, а також використання алгоритму вимірів характеристик біологічних тест-об'єктів, що забезпечує реалізацію експрес-контролю токсичності водного середовища методами біотестування, роздивимося більш докладно обґрунтування даної ознаки.

Суть запропонованого винаходу й методологічний аспект засобу підвищення точності вимірювальних систем оцінки токсичності води

Проблема створення метрологічного забезпечення вимірювальних систем контролю якості водного середовища [4], тим більше з використанням методів біотестування [5] винятково складна в силу специфіки функціонування біосистеми [6]. Зокрема, необхідно враховувати властивості її динамічності, стохастичності, мінливості та нелінійності реакції організмів на різноманітні зовнішні впливи різних рівнів, а також наявність явних і схованих біоритмів [7]. Які необхідно враховувати в задачах біотестування.

У цьому зв'язку, узагальнюючи відому інформацію з науково-технічних джерел про властивості і функціонування біологічних систем, можна сформулювати ряд особливостей (принципів) цього класу систем як об'єктів еко-токсикологічних досліджень, що необхідно враховувати при розробці методів і технічних засобів біотестування.

1 Будь-яка біологічна система надзвичайно складна, включає безліч різноманітних підсистем із різноманітними рухливими зв'язками і функціями, що призводить до великої кількості можливих віртуальних моментних станів у її структурно-функціональній організації.

2 При вивченні біологічної системи припадає узгоджуватися з комплексом множини, який змінюється безупинно, чинників, що активно впливають на систему або на підсистеми. Причому точне урахування самих чинників і результатів їхнього впливу в реальних умовах не вважається можливим. Для опису поточного стану біологічного тест-об'єкта в умовах дії зовнішнього чинника необхідно враховувати його попередню історію.

3 Біологічна система з погляду термодинаміки є такою, що самовідтворюється, самоорганізується і принципово відкрита. Для неї характерні процеси синтезу і деструкції органічних структур, росту, розмноження, самозбереження, адаптації, захисту, мінливості й акомодаци. Живі системи мають специфічну чутливість, стійкість і надійність функціонування.

4 Біологічну систему необхідно розглядати як єдину і нерозривну систему з тимчасовою організацією, ієрархічною структурою елементів, циклів метаболізму і інформаційних потоків, для якої характерні контури зворотних зв'язків (негативних і позитивних). При цьому внутрішні зв'язки частин і підсистем є необхідними чинниками саморозвитку біосистеми, тому що вони визначають спадкоємність організації і точність її відтворення.

5 Не можна частинам біологічної системи приписувати властивості всієї системи, якими ці частини не володіють і не можуть володіти, тому що не можна визначити життя виходячи з властивостей окремих організмів або їхніх частин, як би важливими ці частини не були. У цьому зв'язку поняття "жива система" стосується не до окремих організмів, а всієї сукупності живих істот, пов'язаних визначеними зв'язками.

6 Всупереч морфологічній розмаїтості форм і рівнів організованості біосистем на клітково-організменому, популяційному і біоценотичному рівнях в основі всіх проявів життя лежать дуже подібні реакції сприйняття інформації, що надходить із ядра і з зовнішнього середовища, обміну речовин, відтворення клітинних структур, накопи-

чення енергії і речовини, подразливості, самостійного руху, мінливості всіх структур, пристосування і відновлення.

Незважаючи на вражаюче різноманіття форм життя в її основі лежать ті самі кругові процеси переміщення електронів. Для всіх біосистем властива спроможність до регуляції, або, як її ще іноді називають, авторегуляції.

7 З огляду на те, що життєдіяльність біологічних систем забезпечується за рахунок постійного притоку (обміну) із навколишнього середовища енергії, речовини й інформації, такі системи можна уявити у вигляді трьох взаємозалежних підсистем: "енергетичної", "операторної" і "інформаційної", кожна з яких у свою чергу має специфічну ієрархічну структуру.

8 Для біологічної системи характерні нестаціонарність функціонування, динамічно стійка нерівноважність енергетичних і речовинних потоків і циклів, що забезпечують стійкість у цілому і гомеостазу у стані "норма", захисні реакції в "стресовому" стані, пошук альтернативного шляху розвитку в "термінальному" стані.

Форма життєдіяльності, що обумовлена специфічною внутрішньою організацією і наявністю мережі взаємодій між компонентами біосистеми, виявляється більш стабільною, ніж вміст системи. При зовнішньому впливі жива система виявляє принаймні дві фази підвищеної чутливості, у яких система переходить з одного стану в інший. Обидва переходи біфуркаційного типу («складка» - 1-й перехід і «сідло» - 2-й перехід), проте перший - оборотний, а другий - необоротний.

9 Для опису динаміки реакції біологічної системи на зовнішній вплив необхідно розрізнити дві тимчасові розгортай, що відбивають еволюційний розвиток і унікальні особливості онтогенезу. При цьому життєдіяльність біосистем визначається своєрідною єдністю детермінованості і ймовірності. Закони детермінізму забезпечують передачу накопиченої інформації і, отже, зберігання досягнутого, а закони випадку, що виявляються в мінливості, ведуть до руйнації досягнутого, створюючи передумови до виходу з протиріччя і до придбання нової інформації про зовнішнє середовище. Зберігання життя, отже, можливо лише при постійній зміні умов його утримання.

10 Стан біологічної системи описується набором фізіологічних процесів і великою кількістю функціональних показників, інформативна значимість котрих остаточно не встановлена. При цьому показники і процеси неоднозначно визначають стан системи, тому що стан її рівноваги (норма) може забезпечуватися при різних розмірах визначальних параметрів. Крім того, ці параметри складно взаємозалежні, і зв'язок цей іноді (частіше усього) нелінійний.

11 Для біологічних систем характерна якісна неоднорідність організації, що виявляється в тому, що в рамках однієї і тієї ж функціональної системи спільно і злагоджено працюють різні підсистеми з різними постійними часу (біоритмами), із якісно різноманітними керуючими сигналами (хімічними, фізичними, інформаційними).

12 Велике число параметрів, що описують біологічну систему, ускладнює, а іноді і виключає

можливість їхнього одночасного фіксування для одержання уявлення про миттєвий стан системи, тому, виконавши процедуру виміру, можна оцінити лише можливість цього стану

13 Одержання точних математичних залежностей між різноманітними параметрами, фізіологічними процесами і функціональними показниками, що характеризують біологічні системи, важко, бо ще недостатньо вивчені такі системи, а також не розроблений адекватний математичний апарат, придатний для їхнього опису

14 Відсутність кількісних характеристик стану і функцій біологічної системи приводить до того, що результат зовнішніх впливів, що діють на неї, не можуть бути передбачені однозначно. У цьому зв'язку необхідне порівняння стану біологічних систем із групи досліду і з групи контролю (одночасно) у реальному масштабі часу

15 Неоднозначність як специфічних, так і неспецифічних реакцій на однаковий набір сигналів зовнішнього середовища або суміжних ієрархічних рівнів побічно вказує на нестационарність самих біологічних систем

16 Різного роду патологічні явища в умовах зовнішнього впливу, що виникають або виявляються в тих або інших підсистемах (наприклад, на клітинному, тканинному або органному рівнях), можуть впливати через вищі рівні керування системою на функції вищих рівнів. Такі впливи змінюють і руйнують систему регуляції, і, як слідство, порушують самі різноманітні процеси в біологічній системі, а це, у свою чергу, ускладнює інтерпретацію одержуваних результатів

17 Індивідуальний розкид біологічних показників, що вимірюються, і параметричної чутливості, а також внутрішня групова мінливість обумовлюють фіксування й априорне обмеження групи досліджуваних об'єктів. Урахування генетичних ефектів викликає необхідність використання організмів різноманітних вікових груп для дослідження тих самих проявів. Наявність множини механізмів регуляції з різними постійними часу регулювання потребує здійснення контролю тривалості експерименту для урахування нестационарності в досліджуваних процесах

18 Дослідження біологічних систем доцільно проводити в умовах їхнього реального існування, без обмеження рухливості. З огляду на те, що закон поведінки системи в більшості випадків заздалегідь невідомий, виникають значні труднощі по забезпеченню адекватності реакції біосистеми на вплив, що тестує

19 Великі труднощі виникають при вимірі параметрів внутрішнього середовища біологічних систем без порушення їхньої цілісності, без внесення перекручувань у параметр, що вимірюється, через порушення фізіологічності експерименту

20 Складність вимірів пов'язана також із порівняно малими абсолютними значеннями рівнів, що вимірюються, і при великих рівнях шумів внаслідок роботи інших підсистем (внутрішніх шумів), через перешкоди, що наведені із зовнішнього середовища. У цьому зв'язку необхідно вимірювати флуктуації параметрів життєдіяльності біологічних систем із наступним їх Фур'є-аналізом для спектрального аналізу біоритмів, потужність спектру яких відби-

ває стан тієї або іншої підсистеми

21 Мінливість і індивідуальність параметрів призводять до широкого використання в біології методів математичної статистики (біометрії). Проте, при цьому для одержання достовірних результатів потрібно збирати й опрацьовувати величезний статистичний матеріал по різноманітних характеристиках біологічного об'єкта, вимір яких іноді пов'язано зі значними витратами часу, тому що деякі біологічні процеси порівняльні з тривалістю існування біологічної системи

Перераховані особливості біологічних систем як об'єктів вивчення змушують дослідників вирішувати численні проблеми, як методичного (при розробці методів дослідження біологічних об'єктів), так і технічного характеру (при одержанні токсикологічної інформації від біологічного тест-об'єкта і подальшого її опрацювання у вимірювальних системах біотестування). Проте, успіхи, досягнуті при синтезі біотехнічних систем, вказують на реальність рішення багатьох проблем (у тому числі і метрологічних [5]) і намічають шляхи, за якими можуть розвиватися подальші дослідження

Біотехнічна вимірювальна система біотестування для оцінки токсичності водяного середовища являє собою сукупність біологічних і технічних елементів, об'єднаних у єдину інформаційно-функціональну систему цілеспрямованої дії - контролю якості води. Основною властивістю такої системи є її супер-адаптивність, що обумовлена наявністю двох контурів адаптації - зовнішнього і внутрішнього

Таким чином, при оцінці токсичності водяного середовища методами біотестування в короткострокових дослідженнях необхідно враховувати такі фактори як 4

потужність дози чинника, що впливає, тривалість дії, інтенсивність чинника, що ушкоджує, періодичність і частоту дії, особливість трансформації і метаболізм хімічних сполук при взаємодії з живими системами,

специфічність і механізм реакції відгуку біологічних систем на вплив, що ушкоджує, пороговість дії зовнішнього фактору на біологічні системи,

рівень організації біологічної системи, можливість одержання і стандартизації біологічного об'єкта при біотестуванні

При розробці технічних засобів вимірювальної системи контролю токсичності водяного середовища методами біотестування необхідно обов'язково дотримуватися таких вимог, як

вимірювальний комплекс повинен бути виконано за двоканальним типом для реалізації процесу вимірів у досліді і контролі в реальному масштабі часу з урахуванням добового біоритму функціонування біосистеми,

технічні засоби у вимірювальній системі біотестування повинні бути метрологічно атестовані,

процес виміру повинен бути безупинним з одержанням поточної інформації у реальному масштабі часу,

необхідно точно контролювати поточний функціональний стан біологічного тест-об'єкту та

його параметричну чутливість,

необхідно розглядати біологічний тест-об'єкт (у тому числі і на екосистемному рівні) як первинний біологічний перетворювач дії зовнішнього фактору, що ушкоджує, у сигнал відгуку функціонального показника, що відображає енергетичну підсистему життєдіяльності,

необхідно при проведенні дослідів всі зовнішні фактори середовища стабілізувати або контролювати їх із наступним введенням відповідних поправок при опрацюванні результатів, що забезпечує одержання інформації в динамічному режимі вимірів й у реальному масштабі часу,

необхідно вибирати такі показники життєдіяльності біологічного тест-об'єкту, які піддаються приладової реєстрації, що адекватно відображають його загальний фізіологічний стан, вони повинні бути функціонально значимі й інформативні,

необхідно для підвищення точності і відворюємості результатів досліджень біотестування працювати в області малої чутливості для показника дії зовнішніх факторів випадкової природи, що вимірюється,

необхідно узгодити повторну апаратуру, що використовується для знімання інформації з біологічного тест-об'єкту, таким чином, щоб вона мінімально впливала на біологічний тест-об'єкт, а останній, у свою чергу, повинен впливати на вторинні датчики тільки своїми інформаційними показниками,

необхідно організувати режим контролю і забезпечити характеристики інерційних показників повторних датчиків і апаратури так, щоб забезпечити вимір характерних параметрів і ритмів біологічного тест-об'єкту,

необхідно забезпечити мікропроцесору обробки поточної інформації від біологічного тест-об'єкту,

необхідно спеціально метрологічно підготувати біологічний тест-об'єкт для одержання достовірної й об'єктивної інформації про токсичність води,

необхідно забезпечити зміну свіжої культури біологічного тест-об'єкту щораз після завершення процедури контролю токсичності водного середовища,

у короткострокових дослідженнях біотестування необхідно і достатньо контролювати параметри життєдіяльності біосистеми, що відображають роботу її енергетичної підсистеми, при цьому вибір біологічного тест-об'єкту для використання його в задачах біотестування необхідно обґрунтувати в залежності від цілі контролю якості водного середовища і техніко-економічних показників,

необхідно методи токсиметрії, що розробляються, оснастити критеріями токсичності, модельним математичним апаратом, а також метрологічним забезпеченням

Розглянемо більш докладно питання, що пов'язані з метрологічним аспектом контролю токсичності водного середовища [9]

Аналіз численної наукової, патентної і нормативної літератури показує, що хімічні речовини здійснюють складний багатфункціональний вплив на біологічні тест-об'єкти. Причому, останній може по різному реагувати на токсикант, проявляючи

при цьому різноманітну чутливість до нього, що залежить як від часу контакту, так і від природи токсиканту. З огляду на це, необхідно з усієї множини відгуків біологічного тест-об'єкту відбирати такі фізіологічні показники, що піддаються приладовому реєструванню й інструментальному опрацюванню, а також відображають життєдіяльність організму. До таких параметрів, насамперед, варто віднести енергетичні характеристики і такі властивості організму, як розмноження, ріст, харчову активність, дихальну і рухову функції, іонний обмін між організмом і навколишнім середовищем, флуоресценцію, хемілюмінесценцію, електричні і температурні характеристики біологічного тест-об'єкту, а також осмотичні показники, густоту, ліпідний склад цитоплазматичних мембран та інші біохімічні і фізичні властивості клітин.

Оцінка токсичності пов'язана з проблемою виміру узагальнених показників якості води. З огляду на те, що живий організм необхідно розглядати як відкриту систему, яка володіє спроможністю до адаптації і характеризується областю гомеостазу, впливає насамперед вирішення проблеми класифікації результатів, що одержуються від живого організму. Дану проблему варто розуміти як складну комплексну задачу визначення правил класифікації для розпізнавання властивостей біологічного тест-об'єкту зокрема за його неповним описом.

У силу того, що біологічний тест-об'єкт характеризується різнотипними ознаками, очевидно одержання вихідних емпіричних даних про його стан у виді числових таблиць (матриць), що відбивають результати вимірів у різноманітних шкалах. Крім того, складність оцінки токсичності виникає через те, що характеристики (властивості) використаного біологічного тест-об'єкту необхідно розглядати в деякому N-мірному просторі станів, а узагальнену характеристику води (токсичність) - у виді функціонала (чисельного розміру). Тобто даний функціонал визначається за допомогою багатомірного вектора, координати якого відбивають властивості і характеристики біологічного тест-об'єкту. Такого типу біофізичні виміри мають особливість, яка пов'язана з «розмитістю» меж вищевказаного простору станів, що підпорядковані стохастичним законам. Це визначає вимоги і рівень розробки технічних засобів, які треба враховувати для побудови вимірювальної системи біотестування.

Все вищесказане робить необхідним розглянути основні особливості теорії вимірів, на основі якої можна одержати об'єктивні оцінки токсичності. При цьому завжди виникає багатопланова проблема, як-то

які властивості і функції біологічного тест-об'єкту потрібно використовувати для одержання N-мірного вектора його станів,

яке їхнє відношення до загальних характеристик організму, як-то до фізіологічних властивостей, до функціональних, енергетичних або інформаційних показників організму,

якою уявою врахувати передісторію в онтогенезі біологічного тест-об'єкту й особливість динаміки його розвитку,

які математичні операції необхідно виконати

для обробки одержуваних результатів виміру, як зв'язати поточні результати в реальному масштабі часу про стан біологічного тест-об'єкту з характеристикою токсичності,

у яких одиницях вимірювати токсичність водного середовища,

як врахувати ефекти синергізму чинників, що впливають, на біологічний тест-об'єкт

В даний час на усі вище перераховані питання поки не можна відповісти однозначно. Проте, використовуючи теорію репрезентативного уявлення емпіричних даних, можна зазначити основні особливості такого типу аналізу

У цьому зв'язку вводиться масив числової системи з визначеними відношеннями (правилами), у рамках якої за відомими алгоритмами шукаються формально аналоги емпіричної системи, розгляд яких ставить математично змістовні проблеми уявлення, єдиності, адекватності та адекватності. Проблема уявлення складається в доказі спеціальних

теорем на основі прийнятої моделі наближення про існування гомоморфізму, де для фіксованої системи з відношеннями шукається спеціальна числова система з іншими відношеннями по визначеному правилу. От чому для побудови вищевказаного гомоморфізму необхідно з загальних позицій мати описову модель функціонування біосистеми й оцінити відповідність чинників зовнішнього середовища з елементами підсистем біосистеми. Крім того, існує ще дві проблеми, які пов'язано з питанням про незалежність числового уявлення від умов при виборі того або іншого гомоморфізму. Формулювання цих проблем на основі аксіоматичного уявлення припускає наявність поняття шкали та припустимі з елементами обраної шкали вимірів математичні перетворення. У таблиці 1 подано основні шкали вимірів, прийняті в практику відповідно до теорії репрезентації уявлення і відображення експериментальних даних, із відповідною їхньою характеристикою

Таблиця 1

Шкала	Основні емпіричні операції над елементами шкали	Математична групова структура	Припустимі статистики (інваріанти)
Абсолютна	Встановлення тотожності, тобто вимір адекватно з точністю тотожного перетворення (цілком однозначно)	Тотожні перетворення $X' = X$	Одержання фізично значимих чисел
Інтервальна	Встановлення рівності інтервалів або різниць	Загальна група лінійна $X' = ax + b$	Середнє відхилення, середнє квадратичне відхилення, рангова кореляція, моментна кореляція
Відношень (пропорційна)	Встановлення рівності відношень	Група подоби $X' = ax$	Коефіцієнт варіації (середньоквадратичні відхилення)
Ординальна (порядку)	Встановлення більшого або меншого	Ізотонічна група $X' = f(x)$, де $f(x)$ -будь-яка монотонно зростаюча функція	Порядкові статистики, зокрема медіана, квантілі
Номинальна (найменувань)	Встановлення рівності (еквівалентності), із характерними інваріантами	Група перестановок $X' = f(x)$, де $f(x)$ будь-яке взаємно однозначна відповідність	Число випадків, мода, кореляція якісних ознак

З приведених шкал абсолютна шкала являється самою "сильною", а шкала найменувань - самою "слабкою". Дані в абсолютній шкалі можуть нести інформацію, еквівалентну сумарній інформації сукупності даних у декількох більш слабких шкалах. Тому на практиці більше працюють в "слабких" шкалах, що "дешевше", бо вони більш завадостійкі і мають неквантовану природу взаємодії між характеристиками біологічного тест-об'єкту та дошкульними елементами первинного перетворювача. При цьому, якщо вимір у двох різноманітних шкалах дає інформацію, яка достатня для рішення конкретної задачі, наприклад, оцінки токсичності, то переважно працювати в більш "слабкій" шкалі.

Проте, у будь-якому випадку при рішенні задач, пов'язаних із проблемою розпізнавання уяв на основі емпіричних даних, необхідно дотримуватись важливої вимоги - результати обчислень, проведених у процесі обробки інформації, повинні залишатися інваріантними до всіх припустимих

перетворень для використовуваних шкал

Таким чином, використання основних понять про шкали вимірів дозволяє побудувати алгоритм оцінки токсичності, що у загальному виді можна уявити графічно (див. фіг. 1), де проілюстроване відображення показників водного об'єкта, який характеризується областю існування у деякому N-мірному просторі. Якість водного об'єкту оцінюється за допомогою біологічного тест-об'єкту, функціональний стан якого описується N-мірним вектором.

З огляду на те, що біологічний тест-об'єкт складним чином реагує на фактор впливу, що ушкоджує, необхідно розглядати його, принаймні, у вигляді трьох пов'язаних між собою підсистем - енергетичної, інформаційної та операторної (або функціональної). У хронічних дослідів зовнішній вплив буде діяти на всі три підсистеми, а в короткострокових - вплив буде спрямовано тільки на енергетичну підсистему. В експрес-аналізах необхідно розглядати тільки короткострокові досліді,

у яких час контакту встановлюється, наприклад, для мікроорганізмів - не більш 10-20 хв, для мікроводоростей - 20-60 хв, для зоопланктону - 20-120 хв, для риб - від 10 хвилин до декількох годин, а для теплокровних - від 10 хвилин до декількох днів.

Таким чином, біологічний тест-об'єкт можна описувати з використанням Енергетичного уявлення, характеристики якого необхідно вимірювати в шкалі відношень так, щоб вибір використаної шкали визначав застосовану методику біотестування, тобто щоб вибір шкали вимірів параметрів N-мірного вектору R відображав усі характеристики водного об'єкта, а технічні засоби, що використовуються для відображення на числову множину, задовольняли вимоги експрес-аналізу, у якому не повинна виявлятися тимчасова компонента. Останнє, у принципі, можливо реалізувати в силу відомої квазістаціонарності станів біологічної системи на аналізованому інтервалі часу в ході проведення експрес-аналізу в короткострокових дослідках біотестування. Проте, урахування тимчасової організації біологічних систем при біотестуванні необхідно завжди враховувати, тому що для всіх живих систем характерні сховані біоритми. У цьому зв'язку потрібно проводити виміри для контролю в реальному масштабі часу, і даний факт накладає особливість диференціальних методів виміру поточного стану біологічного тест-об'єкта в умовах дії зовнішнього чинника, що ушкоджує.

З огляду на істотну динаміку процесу трансформації хімічних речовин у водному середовищі з особистою участю живих організмів (гідробіонтів), що активно формують зовнішнє середовище, виникають додаткові труднощі метрологічного забезпечення токсикологічного контролю.

Причому, інформацію про токсичність одержують по реакції біологічного тест-об'єкта, що вводиться на якийсь час у контрольоване середовище. Початок координат в аналізованому алгоритмі визначається технічним рівнем розвитку і соціального аспекту, що оцінюється в номінальній шкалі.

Виходячи з уявлення біосистеми у виді контуру зі зворотними зв'язками, у тому числі, з нелінійним адаптаційним елементом, можна показати, що використання матричного підходу для оцінки якості біосистеми призводить до опису водного об'єкта в ординальній шкалі. У цьому зв'язку, наслідуючи використання бальної оцінки якості води, можна ввести п'ять зон стану водного об'єкта:

- зона 1 відображує стан чистої води,
- зона 2 відображує стан нетоксичної води,
- зона 3 відображує стан трохи токсичної води,
- зона 4 відображує стан токсичної води,
- зона 5 відображує стан сильно токсичної води (смертельної).

Межі зон стану водного об'єкта встановлюються з нормативних актів водогосподарчої діяльності, що відображують соціальний, техніко-економічний і екологічний рівні (аспекти) водоспоживання [14].

З огляду на все це, у практичному біотестуванні для оцінки токсичності водного середовища

необхідно вирішувати задачу вимірів, принаймні, у трьох шкалах відображення інформації: шкалі відношень, номінальній шкалі і порядковій шкалі, що визначає необхідну структуру вимірювальної системи токсико-метричного аналізу і методичні й метрологічні особливості контролю якості водного середовища в короткострокових дослідках біотестування.

Висновок 1

Вимірювальна система біотестування повинна бути виконана такою, щоб реалізувати синхронний контроль функціонального стану біологічного тест-об'єкта в контролі й у досліді з досліджуванним водним середовищем або хімічною речовиною, із метою одержання відносного розміру реакції біологічного тест-об'єкта на токсичний вплив.

необхідно точно оцінювати функціональний стан біологічного тест-об'єкта в реальному масштабі часу (і, бажано) без використання процедур калібрувальних графіків,

технічні засоби, що входять до складу вимірювальної системи біотестування, повинні бути метрологічно атестовані.

Подібні дослідження для обґрунтування вищевказаних вимог необхідно проводити з використанням сучасних уявлень і тенденцій медико-біологічного приладобудування. У цьому зв'язку зупинимось більш докладно на методах підвищення точності контролю функціонального стану біологічного тест-об'єкта в задачах біотестування й оцінці токсичності водного середовища.

В даний час найбільш перспективними є структурні методи підвищення точності, зокрема, при контролі функціонального стану біологічного тест-об'єкта для оцінки токсичності стічних вод, у силу того, що можливості конструктивних методів підвищення токсичності вимірювальних систем біотестування обмежені, у зв'язку з лабільними характеристиками біологічних тест-об'єктів - основних елементів таких вимірювальних систем. Структурні методи засновані на використанні у вимірювальних системах структурної або тимчасової надмірності, що дозволяє реалізувати алгоритм підвищення точності контролю функціонального стану біологічних тест-об'єктів. Маючи у виду складну залежність передатної функції первинного біологічного перетворювача від факторів дії зовнішнього середовища і властивостей біологічного тест-об'єкта, необхідно розглянути основні властивості вимірювальної системи біотестування (ВСБ).

У загальному випадку статистичну функцію перетворення (СФП) практично будь-якої ВСБ (припускаємо, що біологічний тест-об'єкт за час виміру незначно змінює свої параметри, тому що обраний інтервал часу впливу токсиканта на організм в експрес-аналізі, тобто в короткостроковому експерименті, відповідає квазістаціонарній фазі реакції організму на даний токсикант) при контролі функціонального стану організму завжди можна уявити у вигляді

$$f = a_1 + a_2x + \dots + a_n x^{n-1} \quad (1)$$

де f - вихідний розмір реакції функціонального показника біологічного тест-об'єкта на токсикант, що вимірюється, (СФП),

a_1, \dots, a_n - параметри СФП,

x - розмір функціонального показника, що вимірюється

З огляду на вираз (1), для номінальної (оптимальна умова для біологічного тест-об'єкту і умова для вимірів) СФП маємо

$$f = a_1 + a_2x + \dots + a_nx^{n-1} \quad (2)$$

У реальних умовах експлуатації ВСБ значення параметрів СФП відрізняються від своїх номінальних значень унаслідок зміни зовнішніх умов функціонування первинного біологічного перетворювача, старіння елементів ВСБ, взаємного впливу каналів виміру (у багатоканальній ВСБ), впливів специфічних умов у системі життєзабезпечення організму і т.п. Тому СФП записується у вигляді

$$f = a_1(t) + a_2x(t) + \dots + a_n(t)x^{n-1} \quad (3)$$

Для приведення до виходу похибки для ВСБ (Авих) з урахуванням виразів (2) і (3) маємо

$$\Delta_{\text{вих}} = \Delta a_1 + a_2x + \dots + a_nx^{n-1} \quad (4)$$

де

$$\Delta a_i = a_i(t) - a_{i0}, \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

Відомо, що похибка $\Delta_{\text{вих}}$ є сума двох складових автокорельованої $\bar{\Delta}_{\text{вих}}$ і неавтокорельованої $\Delta_{\text{вих}}$ похибок. Складові $\bar{\Delta}_{\text{вих}}$ об'єднує практично всі систематичні і повільно мінливі випадкові похибки, що прогресують, а складові $\Delta_{\text{вих}}$ об'єднує усе швидко мінливі (високочастотні) випадкові похибки. При цьому, під автокорельованою складовою похибки варто розуміти похибку, що подає собою випадкову функцію часу, для якого коефіцієнт кореляції двох випадкових розмірів $\bar{\Delta}_{\text{вих}}(t_1)$ і $\bar{\Delta}_{\text{вих}}(t_2)$, узятих на інтервалі $t_2 - t_1 = T$ (час реалізації алгоритму виміру), близький до одиниці. Для неавтокорельованої складової зазначений коефіцієнт близький до нуля.

Для ВСБ особливе значення мають технічні засоби, що зменшують автокорельовані складові похибки ($\bar{\Delta}_{\text{вих}}$), тому що точність ВСБ в основному визначається точністю роботи первинного біологічного перетворювача, у якому переважають автокорельовані складові похибки. Останні пов'язані з неоднорідністю біологічного тест-об'єкту, зміною його характеристик у часі, що залежать від зовнішніх умов.

Серед структурних методів зменшення автокорельованої складової похибки виміру відомі методи допоміжних вимірів впливів, що обурюють, ітераційні методи, методи зразкових сигналів і тестові методи.

Застосування методів допоміжних вимірів впливів, що обурюють, потребує знання характеру цих впливів на первинний біологічний перетворювач, а також функцій впливу їх на похибку ВСБ. Для цього необхідно розробити комплекс спеціальних засобів для виміру впливів, що обурюють, який найчастіше практично реалізувати дуже важко. От чому, перспектива застосування цих методів обмежена, а одержувана інформація за допомогою таких ВСБ ненадійна.

Застосування методів обернених перетворень і зразкових сигналів у ВСБ обмежено, тому що

реалізація обернених перетворень потребує знання або наявності точного оберненого перетворювача, створення якого сполучено з набагато більшими труднощами, ніж створення точного прямого перетворювача. Крім того, для цих методів необхідно забезпечити поточне періодичне відключення величини (X), яку вимірюють, від входу ВСБ, що практично зробити неможливо. А з огляду на те, що характеристики ВСБ є принципово нелінійними, то для реалізації методів зразкових сигналів потрібно велика кількість зразкових мір, число яких залежить від ступеня нелінійності функції перетворення ВСБ. Визначення числа зразкових мір необхідно проводити особисто в кожному конкретному випадку, що робить метод зразкових сигналів у ВСБ працездатним, неефективним і дорогим.

Для оцінки функціонального стану біологічного тест-об'єкта при біотестуванні можна дуже ефективно використовувати метод тестових процедур, який розроблено для підвищення точності виміру електричних і неелектричних величин.

Сутність тестових методів полягає у визначенні поточних значень параметрів ВСБ за допомогою додаткових перетворень тестів, кожний із котрих функціонально пов'язано з показником, що вимірюється. У цьому зв'язку задача підвищення точності ВСБ зводиться до задачі ідентифікації. При цьому СФП первинної ВСБ розглядається як поліном (1) з невідомими параметрами, що підлягають визначенню. Для цього входні сигнали задаються у вигляді тестів, що представляються деякими функціями невідомої величини функціонального показника біологічного тест-об'єкту, який вимірюється. Все це робить входні сигнали також невідомими.

Метод тестових процедур має цілий ряд характерних переваг, як-то

відпадає необхідність у відключенні величини (X), що вимірюється, від входу первинної ВСБ, відбувається істотне обмеження числа тестових процедур (тестів) при нелінійній функції перетворення первинної ВСБ, яке обумовлене тим, що величина показника життєдіяльності біологічного тест-об'єкту, який вимірюється, фактично транспортує тести у відповідний відрізок функції перетворення,

зменшується помилка, яка пов'язана з параметрами, що не вимірюються, наприклад, стічних вод. Вона найчастіше виникає при неузгодженості величини токсичності, що вимірюється, з властивостями ПБП (останнє звичайно спостерігається при контролі різноманітних за складом стічних вод) та іншими характеристиками.

У загальному випадку при реалізації тестових методів підвищення точності ВСБ процес виміру складається з $n+1$ тактів. При цьому в першому такті (основному) перетворюється приватна характеристика функціонального показника у вихідну величину інтегрального параметру життєдіяльності, а в інших (додаткових) - тести $A_1(X)$, $A_2(X)$, ..., $A_n(X)$, кожний з яких - деяка функція величини X , що вимірюється.

Результати основного f_0 і додаткових перетворень f_1 , f_2 , ..., f_n з урахуванням виразу (1) можуть бути подані у вигляді

$$\begin{aligned} f_0 &= a_1 + a_2 x + \dots + a_n x^{n-1}, \\ f_1 &= a_1 + a_2 A_1(x) + \dots + a_n [A_1(x)]^{n-1}, \\ f_n &= a_1 + a_2 A_n(x) + \dots + a_n [A_n(x)]^{n-1}, \end{aligned} \quad (5)$$

Для одержання тестового алгоритму підвищення точності ВСБ, необхідно спочатку визначити реальні параметри a_1, a_2, \dots, a_n СФП первинної ВСБ із системи додаткових рівнянь, а потім знайти значення величини, що вимірюється, f_0 знаходимо з основного рівняння при підстановці в нього поточних значень a_1, a_2, \dots, a_n . Остаточне співвідношення, що показує зв'язок вхідної величини X з результатами перетворень f_0, f_1, \dots, f_n і значеннями тестів $A_1(X), A_2(X), \dots, A_n(X)$, є алгоритмом підвищення точності виміру функціонального показника біологічного тест-об'єкту

Вирішуючи систему рівнянь (5) що до величини X , яка вимірюється, одержуємо результат виміру, що не залежить від поточних значень параметрів a_1, a_2, \dots, a_n СФП, що дає можливість виключити автокорельовану складову помилки

$\Delta_{\text{внк}}$ первинної ВСБ

Існують два типи тестів адитивні тести, які сформовані блоком адитивних тестів (БАТ), і мультиплікативні тести, які сформовані блоком мультиплікативних тестів (БМТ). У практиці біотестування необхідно використовувати незалежні тести, тому що функціональні тести важко практично реалізувати. Незалежні адитивні тести формуються у вигляді суми

$$A_1(X) = X + \theta_1, \quad (6)$$

де θ_1 - постійна складова адитивного тесту, що є незалежною від X величиною. Незалежні мультиплікативні тести формуються у вигляді

$$A_1(X) = k_1 X, \quad (7)$$

де k_1 - незалежний від X коефіцієнт перетворення БМТ

Розглянемо для простоти шматочно-лінійну апроксимацію функції перетворення поточного стану біологічного тест-об'єкта. За допомогою такої апроксимації можуть бути подані функції перетворення стану біологічного тест-об'єкта як лінійні, так і істотно нелінійні. Це пов'язано з тим, що із самої суті тестових методів полягає, що загальне число тестів пов'язано тільки з виглядом апроксимуючого поліному і не залежить від числа відрізків апроксимації, тому що тести функціонально пов'язані з величиною, що вимірюється, і якби транспортуються разом із нею у будь-яку ділянку апроксимації. Тому функція перетворення показника життєдіяльності біологічного тест-об'єкта на j -ій ділянці апроксимації описується математичною моделлю, що має вигляд

$$J = a_{1j} + a_{2j} X, \quad (j = 1, 2, \dots, m) \quad (8)$$

Для реалізації тестового методу підвищення точності виміру поточного стану організмів необхідно мати, принаймні, два тести $A_1(X)$ і $A_2(X)$

Таким чином, алгоритм, що реалізує тестовий метод при шматочно-лінійній апроксимації функції перетворення ВСБ, може бути отримано підстановкою в систему рівнянь (5) при $n = 2$ у вигляді

$$f_0 = \frac{f_1 A_2(X) - f_2 A_1(X)}{A_2(X) - A_1(X)} + \frac{f_2 - f_1}{A_2(X) - A_1(X)} \quad (9)$$

На фіг 2 і фіг 3 приведено варіанти структурних схем ВСБ із блоками БАТ і БМТ, де вказано ПБП - первинний біологічний перетворювач, ПНП - перетворювач неелектричних параметрів, БО - блок опрацювання інформації, БП - вихідний пристрій, БА - блок автоматики, ВСБ - вимірювальна система біотестування, БАТ - блок адитивного тесту, БМТ - блок мультиплікативного тесту, ЗУТ - зв'язок управління тестами

Використовуючи один мультиплікативний і один адитивний тести можна реалізувати алгоритм (9) підвищення точності оцінки функціонального стану біологічного тест-об'єкта. При цьому процес виміру складається з трьох тактів (процедур). У першому такті ключі K_{11}, K_{12} розімкнено і на вхід ВСБ подається величина, що вимірюється. В другому такті ЮІІ замикається і на вхід ВСБ надходить адитивний тест $[X + \theta]$, сформований БАТ. У третьому такті ключ K_{11} розмикається, а ключ K_{12} замикається, забезпечуючи підключення до входу ВСБ мультиплікативного тесту виду $[X + KX = X(K + 1)]$, сформованого БМТ. У результаті одержуємо тестовий алгоритм такого вигляду

$$X = \frac{f_2 - f_0}{f_1 - f_0} \frac{\theta}{K} \quad (10)$$

де

$$f_0 = a_1 + a_2 X,$$

$$f_1 = a_1 + a_2 (X + \theta),$$

$$f_2 = a_1 + a_2 (X + KX).$$

Як очевидно з формули (10) для ВСБ, структура якої змінює вигляд (див фіг 2), точність результату виміру параметра життєдіяльності біологічного тест-об'єкта не залежить від невідомих параметрів a_1, a_2 , СФП вихідної ВСБ, а цілком визначається параметрами θ і K БАТ і БМТ. Проте, на практиці важко здійснити БМТ із стабільним параметром K , тому що функціональний стан у широкому діапазоні своїх проявів по-різному відбиває показник життєдіяльності біологічного тест-об'єкта. Крім того, реакція організму на вплив, що ушкоджує, має істотно нелінійний характер, що залежить як від часу виміру, так і від рівня зовнішнього впливу. От чому, лінійні властивості для мультиплікативного тесту із постійним K можуть бути визначені лише на вузькому інтервалі величини, що вимірюється.

Щоб виключити вплив коефіцієнту перетворення БМТ на результат виміру, необхідно організувати додатково структурну надмірність. Це досягається в послідовному режимі функціонування тестів БАТ і БМТ у ВСБ. Так, наприклад, на фіг 3 наведена реалізація такого варіанту, де вхід БМТ сполучений із виходом БАТ, що призводить до появи ще одного додаткового перетворення. У цьому випадку процес виміру (оцінки функціонального стану біологічного тест-об'єкта) складається з чотирьох тактів. Перші три такти цілком аналогічні трьом тактам роботи ВСБ, схема якої наведена на фіг 2. У четвертому такті замикаються ключі K_{11} і K_{12} , які підключають до

входу ВСБ тест виду $[9K+1](X+\theta)$. Тестовий алгоритм у цьому випадку має вигляд

$$X = \frac{f_2 - f_0}{(f_3 - f_1) - (f_2 - f_0)} \theta, \quad (11)$$

де

$$f_0 = a_1 + a_2x + a_3x^2,$$

$$f_1 = a_1 + a_2A_1(x) + a_3A_1(x)^2,$$

$$f_2 = a_1 + a_2A_2(x) + a_3A_2(x)^2,$$

$$f_3 = a_1 + a_2A_3(x) + a_3A_3(x)^2,$$

$$A_1 = X + \theta, \quad A_2 = X + KX, \quad A_3 = X + \theta + K(X + \theta)$$

Як очевидно з виразу (11), результат виміру не залежить від K - коефіцієнта перетворення БМТ, а цілком залежить від одного показника в адитивному перетворенні, тобто від θ

Алгоритм (11) дозволяє виключити помилку виміру, яка викликана параметрами функціонального стану біологічного тест-об'єкта, що не вимірюються. Це особливо важливо для контролю стану, якщо він оцінюється за допомогою одного показника фізіологічних реакцій біологічного тест-об'єкта. Добре відомо, що при класичному біотестуванні для аналізу необхідні знання поточного стану організму за рядом фізіологічних реакцій, тому що в короткострокових дослідженнях біотестування використовуються організми, які мають різноманітну чутливість до того або іншого токсиканту.

Як очевидно з фіг 2 і фіг 3, застосування тестових методів підвищення точності ВСБ пов'язано з необхідністю створення адитивних і мультиплікативних тестів. БАТ достатньо просто практично реалізувати за допомогою автономних пристроїв, ланцюгів зворотних зв'язків або введенням незалежних впливів на ПБП (біологічний тест-об'єкт), а створення БМТ потребує значних витрат часу для аналізу і ускладнення конструктивних елементів ВСБ, тому що для дійсного часу ще не створено адекватну модель біосистеми, на яку до того ж діє ушкоджуючий фактор. Тому перспективним є використання таких ВСБ, у яких реалізовані і теоретично обґрунтовані тестові методи підвищення точності виміру тільки за допомогою одних адитивних тестів.

Таку задачу можна вирішити, наприклад, шляхом використання диференціального методу виміру. На фіг 4 подана структурна схема диференціальної ВСБ (один канал виміру). Для опису функцій перетворення ВСІ і ВСІ необхідно застосовувати поліном другого порядку

$$y = a_3x^2 + a_2x + a_1 \quad (12)$$

При цьому процес виміру складається з чотирьох тактів. У перших двох тактах перетворюються (звичайне диференціювання) розміри $[X]$ і $[-X]$, а в наступних двох тактах - за допомогою ключів $K_{\theta 1}$ і $K_{\theta 2}$ до входу 1 ВСБ підключається тест $[X + \theta]$, до входу 2 ВСБ - тест $[-(X + \theta)]$. Таким чином, маємо

$$f_0 = a_1 + a_2x + a_3x^2,$$

$$f_1 = a_1 + a_2(-x) + a_3(-x)^2,$$

$$f_2 = a_1 + a_2(x + \theta) + a_3(x + \theta)^2, \quad (13)$$

$$f_3 = a_1 + a_2(-x - \theta) + a_3(-x - \theta)^2;$$

звідки одержуємо

$$X = \frac{f_0 - f_1}{(f_2 - f_3) - (f_0 - f_1)} \theta \quad (14)$$

Як очевидно з виразу (14), результат виміру X не залежить від параметрів a_1, a_2, a_3 СФП, а тестовий алгоритм реалізується тільки на основі адитивних тестів. Тут важливо відзначити, що по суті, як очевидно з формули 14, здійснюється прийом оцінки параметричної чутливості функції життєдіяльності біологічного тест-об'єкта.

Таким чином, у тих випадках, коли вмикання БМТ у входні ланцюги ВСБ викликає проблеми або економічно не вигідно, можливо ефективно використовувати тестові методи підвищення точності виміру в системах, які побудовані на основі диференціального методу виміру. При цьому слід зазначити, що й у цьому випадку, як і в попередніх, величина, що вимірюється, не відключається від входу ВСБ у процесі реалізації тестового алгоритму підвищення точності виміру (оцінки) функціонального стану біологічного тест-об'єкта.

Висновок 2

Для того, щоб забезпечити точну оцінку функціонального стану біологічного тест-об'єкта в умовах дії відповідних факторів, що визначають його життєдіяльність у реальному масштабі часу, без використання побудови калібрувальних графіків, необхідно

організувати процедуру 4-х тактового виміру на одному зразку біологічного тест-об'єкта 2 такти - диференціального виміру плюс 2 такти - диференціального виміру за умови адитивної добавки показника функціонального стану, що вимірюється,

технічні засоби, що входять до складу вимірювальної системи біотестування з алгоритмічним засобом підвищення точності контролю, можуть бути з «слабкими» метрологічними характеристиками,

адитивна добавка повинна бути за метрологічними характеристиками «сильною», що важливо при реалізації одноканальної вимірювальної системи біотестування.

При оцінці токсичності водяного середовища, хімічної сполуки або скринінгу біологічної активності необхідно одержувати графіки дозової залежності середнього розміру [10], параметричної чутливості [11] або варіабельності [12] функціонального показника біологічного тест-об'єкта. У цьому зв'язку необхідно підготувати ряд проб із досліджуванним зразком води або хімічної речовини, а також ряд проб з біологічним тест-об'єктом, провести інкубацію протягом заданого часу і провести контроль функціонального показника життєдіяльності біологічного тест-об'єкта в реальному масштабі часу. Для винятку ефекту залежності поточного стану біологічного тест-об'єкта від часу протягом доби (наявність схованих і явних біоритмів) необхідно щораз проводити дослідження порівнювання з контролем. Це припускає використання

двоканальної вимірювальної системи біотестування

Висновок 3

при реалізації двоканальної схеми вимірювальної системи біотестування необхідна організація максимально можливої ідентичності адитивної добавки в обох каналах вимірів, що істотно спростить налаштування й істотно підвищить точність і відтворюємість одержуваних результатів,

всі такти виміру по обох каналах необхідно обов'язково синхронізувати і проводити в реальному масштабі часу,

На фіг 1 подано схему одержання інформації про якість води в процесі вимірів за допомогою технічних засобів методом біотестування,

на фіг 2 подано варіант структурної схеми вимірювальної системи біотестування з рівнобіжним умиканням блоків БАТ і БМТ,

на фіг 3 подано варіант структурної схеми вимірювальної системи біотестування з послідовним умиканням блоків БАТ і БМТ,

на фіг 4 подано варіант структурної схеми вимірювальної системи біотестування в диференціальному виконанні і вмиканням тільки блоків БАТ,

на фіг 5 подано структурну схему вимірювального комплексу для токсиметричного експрес-аналізу якості водного середовища,

на фіг 6 подано блок-схему алгоритму технології вимірювального процесу при експрес-контролю токсичності водного середовища (хімічних речовин) із використанням запропонованої вимірювальної системи біотестування

Вимірювальний комплекс складається (див фіг 5) із входних пристроїв 1 і 2, систем обробки інформації 3 і 4, вихідного пристрою 5, блоків пробопідготовки 6 і 7 і блока автоматики 8. Причому, входні пристрої 1 і 2 містять первинні біологічні перетворювачі 9 і 10, перетворювачі неелектричних параметрів 11 і 12, вторинні перетворювачі 13 і 14, стимулятори 15 і 16 і блок життєзабезпечення 17 біологічного тест-об'єкту, системи обробки інформації 3 і 4 містять компаратори 18 і 19, блоки керування 20 і 21 і міри 22 і 23, вихідний пристрій 5 містить блок відображення 24 і блок узгодження 25, блоки пробо-підготовки 6 і 7 містять вимірювальні камери реакції 26 і 27 із дозаторами 28 і 29 і каналами подачі біологічного тест-об'єкту 30 і 31 і досліджуваної рідини 32 і 33, а блок автоматики 8 містить виконавчі механізми 34 і обмежувальні елементи 35. При цьому, вимірювальний комплекс виконано у вигляді двоканальної схеми, де є канал дослідження і канал порівняння, в яких ідентично, виконані входні пристрої 1 і 2 і системи обробки інформації 3 і 4. Входні пристрої 1 і 2 мають захисні екрани 36 і 37 від зовнішніх факторів впливу як систематичних, так і випадкових. Первинні біологічні перетворювачі 9 і 10 складаються із суспензії біологічних тест-об'єктів 38 і 39, що залучені у вимірювальні камери реакції 26 і 27 із заданими характеристиками, які контролюються у другому каналі порівняння. Перетворювачі неелектричних параметрів 11 і 12 встановлено безпосередньо поблизу біологічних тест-об'єктів 38 і 39, виходи яких сполучено з вторинними перетворювачами електричних сигналів 13 і 14, стимуля-

тори 15 і 16 пов'язані з вимірювальними камерами реакції 26 і 27, а блок життєзабезпечення 17 біологічного тест-об'єкту об'єднує два канали виміру - канал дослідження і канал порівняння, при цьому вимірювальні камери реакції 26 і 27 у каналі дослідження й у каналі порівняння мають відповідно, патрубки подачі контрольованої рідини 32 і еталонної води 33. А системи обробки інформації 3 і 4 у каналі дослідження й у каналі порівняння пов'язані синхронізатором 40.

Очевидно, що при оцінці токсичності хімічних речовин інші фактори впливу, що буржують, систематичні і випадкові, до яких відносять хімічний і фізичний впливи зовнішнього середовища на біологічний тест-об'єкт, які відрізняються від параметрів, що забезпечують оптимум зовнішнього середовища, повинні бути облічені шляхом введення в результати оцінок поправок або інструментально компенсовані.

Первинний біологічний перетворювач 9 і 10 містить у собі біологічний тест-об'єкт 38 і 39, яким можуть бути мікроорганізми, рослини, організми, зоологічні організми, біологічні рідини або штучні мембрани. Крім того, до його складу входять блок життєзабезпечення 17 біологічного тест-об'єкту 38 і 39 і стимулятори 15 і 16 різноманітного типу. Причому для блока життєзабезпечення 17 характерні герметичні камери, акваріуми, ферментери, термостати, аератори, освітлювачі, годівниці й інші елементи життєзабезпечення. Можна сказати, що блок життєзабезпечення 17 необхідний для підтримки біологічного тест-об'єкта 38 і 39 у заданих стандартизованих умовах проведення дослідів.

У первинному біологічному перетворювачі 9 і 10 відбувається перетворення зовнішніх впливів (параметрів) у зміну фізіологічних показників біологічного тест-об'єкту 38 і 39, що характеризуються функцією реакції (F відгук).

Для узгодження біологічного тест-об'єкту 38 і 39 із входом системи обробки електричних сигналів 3 і 4, яку встановлено поблизу нього, використовується перетворювач неелектричних показників 11 і 12, при цьому вихід їх сполучено із входом вторинного перетворювача 13 і 14.

За 11 і 12 можуть використовуватися найрізноманітніші датчики, що визначаються в залежності від обраного функціонального показника біологічного тест-об'єкту 38 і 39. Це можуть бути електрохімічні датчики газів, іонселективні датчики, фото-, звуко- і термодатчики, різноманітного типу сигналізатори. Функціонально вони призначені для перетворення сигналів неелектричної природи, що індукуються біологічним тест-об'єктом 38 і 39, в електричний сигнал із наступною подачею його на вторинні перетворювачі 13 і 14. Таким чином, біологічний тест-об'єкт 38 і 39 варто розглядати як первинний біологічний перетворювач 9 і 10 неелектричної величини хімічного забруднення.

Вторинні перетворювачі 13 і 14 забезпечують перетворення рівнів електричних сигналів за допомогою лінійних підсилювачів або атенуаторів, змінюючи їхній динамічний діапазон. Іноді вторинні перетворювачі 13 і 14 перетворюють спектр сигналів (масштабно-тимчасове перетворення) за

допомогою перетворювачів частоти, магнітного запису, ліній затримки або фільтрів. Крім того, до складу вторинних перетворювачів 13 і 14 можуть входити накопичувачі, інтегратори, що диференціюють ланцюги, формувачі і амплітудні дискримінатори.

У системі обробки інформації 3 і 4 компаратори 18 і 19 реалізують ту або іншу операцію порівняння показника, що вимірюється, з мірою 22 і 23 або один з одним у залежності від прийнятої метрики. Відомі компаратори 18 і 19, виконані у вигляді різноманітного роду мостових схем, синхронних детекторів, стрілочних і електронно-променевих нуль-індикаторів. Останнім часом одержали поширення логічні схеми на базі мікроелектроніки, комбінуваних яких дозволяє реалізувати будь-якої складності обчислювальні операції.

Міра 22 і 23 являє собою пристрій, призначений для відтворення математичної моделі контрольованого об'єкту або окремих його характеристик. За міру 22 і 23 може бути використано алгоритми програми і, що на практиці частіше усього роблять, інші канали виміру з еталонним входним показником. При цьому керування мірою 22 і 23 виводять на особову панель вимірювальної системи або здійснюють по внутрішніх каналах за допомогою телеметричного зв'язку.

Система керування 20 і 21 блоком життєзабезпечення 17 біологічного тест-об'єкту 38 і 39 (екстремальний регулятор) забезпечує пошук екстремуму шляхом варіації параметрів міри 22 і 23 відповідно до прийнятого алгоритму.

При цьому система керування 20 і 21 може задавати режим стимулятора 15 і 16 і блока життєзабезпечення 17. Особливість системи керування 20 і 21 полягає в тому, що вона визначає час проведення аналізу. Практично вона може складатися з крокового шукача, програмного реле, двигуна-сельсина, термодеретворювача, гідравлічного пристрою з насосами-дозаторами

або хімічним блоком.

Вихідний пристрій 5 виконується по-різному, в залежності від структури одержуваного результату виміру і вимоги до форми його одержання. Вимоги до форми одержання результату виміру залежать від того, чи використовується вимірювальна система автономно або входить до складу іншої системи. У першому випадку можуть виявитися істотними фактори живлення, вагові характеристики, питання культивування біологічного тест-об'єкту, у другому - особливості входу системи, на якій подається вихідний сигнал вимірювальної системи біотестування.

Синхронізатор 40 призначений для одночасного одержання поточної інформації про функціональний стан біологічного тест-об'єкту 38 і 39 у реальному масштабі часу в каналах дослідження і у каналі порівняння шляхом синхронізації роботи вхідних пристроїв 1 і 2. Вхідні пристрої 1 і 2 мають захист екрани 36 і 37, що виконуються в залежності від обраного методу виміру функціонального показника життєдіяльності біологічного тест-об'єкту 38 і 39.

Адитивну добавку реалізують шляхом варіювання в межах фізіологічних норм (толерантності) фактора, що визначає функціональний показник життєдіяльності біологічного тест-об'єкту 38 і 39. У таблиці 2 подано деякі можливості для функціональних показників енергетичної підсистеми біологічних систем.

З огляду на те, що до дійсного часу неможливо створення вимірювальної системи біотестування, яка дозволяє кількісно оцінювати токсичність. Це пов'язано з відсутністю одиниць виміру токсичності, із недостатньою теоретичною пропрацьовуванням питань приладового біотестування, а також із відсутністю метрологічного забезпечення даного типу вимірів. Тому на сучасному етапі можна лише говорити про розробки сигналізаторів токсичності [15].

Таблиця 2

Деякі функціональні показники, фактори, що їх визначають, і діапазон варіювання цих факторів, що можливо використовувати у вимірювальних системах біотестування [13]

№	Функціональний показник життєдіяльності біологічного тест-об'єкту	Фактор, що визначає функціональний показник	Діапазон варіювання фактору	Засіб вимірювання	Датчики неелектричних показників
1	2	3	4	5	6
1	Фотосинтез	Освітленість Температура	300 - 800 лк 5 - 10°C	Швидкість постачання кисню	Електрохімічні датчики кисню
2	Флуоресценція	Освітленість Температура	300 - 800 лк 5 - 10°C	Післявисвітлення в іншій спектральній області в момент опромінювання	Фотодатчики Спектроаналізатори
3	Уповільнена флуоресценція	Освітленість Температура	300 - 800 лк 5 - 10°C	Післявисвітлення в іншій спектральній області через деякий час затримки	Фотодатчики Фосфороскопи
4	Хемілюмінесценція	Температура	5 - 10°C	Спонтанне випромінювання	Фото датчики
5	Біоломінесценція	Температура	5 - 10°C	Специфічне ви-	Фотодатчики

				промінювання в процесі життєдіяльності	
6	Параметри руху мікроорганізмів	Температура	5 - 10°C	Лазерно-доплєрівська спектроскопія	Фотодатчики Мікроскопи
7	Харчова (трофічна) активність	Температура	5 - 10°C	Зміна кількості харчового субстрату	Лічильники мікрочастинок Флуорометри
8	Активність подиху		5 - 10°C	Швидкість зміни розчиненого кисню в темряві	Електрохімічні датчики кисню
9	Швидкість окислення органічного субстрату	Температура Наявність легко окислюваного субстрату	5 - 10°C 200 - 400ХПК	Швидкість зміни розчиненого кисню в затемнених умовах	Електрохімічні датчики кисню
10	Ферментативна активність	Температура	5 - 10°C	Біохімічні	Ферментні електрохімічні електроди
11	Швидкість росту популяції	Температура	5 - 10°C	Фотокалориметрія, мікроскопіювання	Фотодатчики Мікроскопи
12	Частота прямування епіподитів ракоподібних	Температура	5 - 10°C	Мікроскопіювання	Фотодатчики Мікроскопи
13	Фототаксис	Освітленість Температура	300 - 800 лк 5 - 10°C	Фотокалориметрія, мікроскопіювання	Фотодатчики Мікроскопи
14	Трансмімбранний потенціал клітин	Температура	5 - 10°C	Потенціометричний метод	Мікроелектроди капілярного типу
15	Ефект відлякування організмів	Температура	5 - 10°C	Перевищення перешкоджувального бар'єру	Фотодатчики Контактні реле

Сигналізатори призначені для повідомлення інформації, що має характер типу "так-ні". Отримана інформація в процесі експлуатації вимірювальної системи біотестування для оцінки токсичності рідин указує лише на перевищення деякого порогу токсичності, що встановлюється в кожному конкретному випадку водопостачання або водовідведення, виходячи з водоохоронних вимог.

Намітився шлях створення таких комплексів, у яких оцінка токсичності здійснюється відразу по декількох параметрах біологічного тест-об'єкту, при цьому не виключається можливість одночасного використання різноманітних за систематичними рівнями організмів. Це дозволяє більш повно охарактеризувати стан живої системи, що може забезпечити ідентифікацію складу контрольованої рідини.

Блок пробопідготовки 6 і 7 із камерою реакції 26 і 27 здійснює підготовку і періодичну або безупинну подачу контрольованої й еталонної рідин у камеру реакції 26 і 27, а також промивання гідравлічної частини вимірювальної системи біотестування. При цьому розрізняють прямий відвід із колектора стічної води або за допомогою пробовідбірної пристрою. Ці особливості визначають структуру вимірювальної системи для оцінки токсичності, розділяючи всі прилади на стаціонарні і переносні.

Необхідно відзначити, що при розширенні функціональних можливостей і областей застосування, запропонована нами блок-схема вимірювальної системи біотестування для оцінки токсичності не потребує істотної зміни. Так, наприклад, використання її в неавтономному режимі в комплексі автоматичної станції контролю якості води потребує усього лише запровадження каналів керування

роботи усієї вимірювальної системи для оцінки токсичності. Проте, як бачимо, біологічний тест-об'єкт 38 і 39 є обов'язковим елементом будь-якої вимірювальної системи контролю токсичності водного середовища.

Технологія вимірювального процесу при експрес-аналізі токсичності водного середовища з використанням запропонованої вимірювальної системи біотестування подана на фіг 6, де зазначено блок-схему алгоритму процесу контролю токсичності водного середовища.

Пристрій робить наступним чином:

Основний принцип аналізу хімічної речовини, які містяться у водному середовищі, - це ідентифікація його за раніше встановленими специфічними характеристиками з урахуванням особливостей методу вимірювання.

Метод аналізу біотестування - це метод дії на аналізовану живу речовину (біологічний тест-об'єкт) з ціллю визвати його відгук (характерний сигнал), який реєструється, аналізується та порівнюється із раніше встановленими характерними сигналами, які відображають життєдіяльність організмів. В реальних умовах роботи дослідницьких та виробничих лабораторіях контролю підлягають, як правило, нечиста речовина, а суміш великої кількості речовин. Присутні в контролюємому зразку водного середовища ряд хімічних речовин (нетоксичні за своєю природою) можуть оказувати заважаючий вплив на результати вимірів. В цьому плані виникає ще одна серйозна проблема - це проблема синергизму, трансформацій та метаболізму, контролюємих компонентів та їхньої суміші з участю біологічних об'єктів. В першому наближенні в результаті контролю отримуємо сумарний сигнал

$$I = I_0 + I_f,$$

де

I_0 - сигнал від аналізованої речовини,

I_f - фоновий сигнал (шум), який утворюється іншими речовинами. Проблема аналізу - збільшення відношення сигнал/шум. Вирішити цю проблему можливо або підвищенням селективності корисного сигналу, або очищенням зразку від заважаючих речовин. На практиці часто величину шуму визначають при калібровочних вимірах в "нульовому" досліді, коли в аналізованому середовищі немає вивчаємої речовини.

Для того, щоб сигнал I_0 дозволив визначити кількість аналізованої речовини (її концентрацію), необхідно зіставити її з сигналом I_z , від еталонного зразку, склад якого точно відомий.

З позицій метрології проведення аналізу заключається у вимірі певних величин, наприклад, інтенсивності випромінювання, сили струму і т.п. Як правило, отримані характеристики є посередньою оцінкою об'єкту, що досліджується. За ним в узгодженні із методом, що використовується, виміру проводять розрахунок кінцевих показників токсичності. Цей посередній вимір - за результатами прямого виміру визначають потрібний показник. Високі метрологічні показники характеристики вторинних перетворювачів служать основою, в цілому, відтворює-мости процесу оцінки токсичності водного середовища. Правильність подібних оцінок буде залежати від вірності методу, що використовується, контролю, його теоретичної та практичної спроможності. В цьому випадку річ іде про вірність інтерпретації отриманих даних. Помилки інтерпретації можуть виникати в результаті, наприклад, неправильних представлень механізмів взаємодії у системі, що вивчається біологічний об'єкт - хімічна речовина.

При біотестуванні про наявність токсикантів судять за зміною параметрів стану біологічного тест-об'єкту на протязі часу при контакті із речовиною, що досліджується, рідиною, що аналізується. В найбільш простому випадку задача виявлення токсиканта заключається в перевірці нульової гіпотези H_0 про рівність середніх параметрів стану біологічного об'єкту в досліді та контролі. Якщо гіпотеза H_0 не вірна, можна стверджувати, що в речовині, що досліджується, присутнє забруднення із заданим рівнем довірительної вірогідності (P).

Коефіцієнт варіації параметрів стану БТО в нормі звичайно складає 5 - 10%. Кількість повторностей не перевищує 7. У випадку нормального розподілу параметрів перевірка гіпотези H_0 зводиться до наступного.

Обчислюють середньозважене значення дисперсії за виразом

$$S_2 = ((n_0 - 1)S_0^2 + (n_1 - 1)S_1^2) / (n_0 + n_1 - 2),$$

де n_0, n_1 - число повторностей в досліді та контролі відповідно,

S_0^2, S_1^2 - дисперсія параметра в досліді та контролі відповідно.

Обчислюють критерій Стюдента

$$t = \frac{|\bar{X}_0 - \bar{X}_1|}{S} \sqrt{\frac{n_0 n_1}{n_0 + n_1}}$$

Гіпотеза H_0 не вірна і в рідині присутня за-

бруднююча речовина, якщо при обраному значенні $t > t(P, n_0 + n_1 - 2)$

де P - заданий рівень довірительної вірогідності.

В протилежному випадку необхідно признати, що рідина, яка досліджується, нетоксична та не оказує впливу на біологічний тест-об'єкт при обраному рівні довірительної вірогідності.

Отже, при включенні загального живлення в блок автоматики 8 спрацьовує керуюче реле включення живлення вхідних пристроїв 1 і 2, систем обробки інформації 3 і 4, вихідного пристрою 5, блоків прободготовки 6 і 7 і основних вузлів блока автоматики 8.

Причому, синхронно, за допомогою синхронізатору 40, із культиватору біологічного тест-об'єкту (на фіг 5 не показаний) культура подається за допомогою дозатору (на фіг 5 не показаний) по каналам подачі 30 і 31 біологічного тест-об'єкту в суворо обмеженій кількості до вимірювальних камер реакції 26 і 27. Таких камер повинно бути не менш 10 штук в п'ятьох повторностях. Після цього із допомогою інших дозаторів 28 і 29 до цих вимірювальних камер реакції 26 і 27 подається рідина, що контролюється, із заданою концентрацією. Об'єм рідини, що подається, до кожної камери однаковий та суворо обмежений. В вимірювальних камерах реакції 26 і 27 виконують інкубацію шляхом витримування на протязі заданого часу.

Вимірювальні камери реакції 26 і 27 установлені в вхідних пристроях 1 і 2, які обладнані перетворювачами неелектричних параметрів 11 і 12, стимуляторами 15 і 16, а також блоком життєзабезпечення 17 біологічного тест-об'єкту. Блок життєзабезпечення 17 біологічного тест-об'єкту працює так, щоб забезпечити стабільність зовнішніх параметрів (температури, світла, перемішування, аерації та ін.), які залежать від особливостей біологічного тест-об'єкту, що задаються блоком автоматики за допомогою виконавчих механізмів 34 і обмежувальних елементів 35.

Момент часу виміру синхронно, за допомогою синхронізатору 40, в каналах досліді та порівняння задається блоком автоматики 8. При цьому перетворювачі неелектричних параметрів 11 і 12 контролюють величину показника, що вимірюється, життєдіяльності біологічного тест-об'єкта, а за допомогою стимуляторів 15 і 16 задається додаткова зовнішня дія на біологічні тест-об'єкти суворо обмеженою величиною, наприклад, у вигляді температурного стрибку.

Таким чином, в каналі дослідження та синхронно, за допомогою синхронізатору 40, в каналі порівняння одержують по двом групам вимірів перша група - без стимулюючої дії, друга - із стимулюючою додатковою дією. Як перша так і друга групи містять виміри диференціального типу, суть яких в наступному в один вхід диференціальної схеми подаються сигнали від проби біологічного об'єкту без яких-небудь хімічних дій, а до другого входу цієї диференціальної схеми - від проби біологічного об'єкту з хімічною дією. По чотирьом отриманим величинам (чотири такти вимірювання) в каналі дослідження та синхронно, за допомогою синхронізатору 40, в каналі порівняння в компара-

торах 18 і 19 здійснюють розрахунок відклику біологічного тест-об'єкту на хімічну дію за алгоритмом у вигляді

$$X = \frac{f_0 - f_1}{(f_2 - f_3) - (f_0 - f_1)} \theta,$$

де $f_0(+X)$ - сигнали від проби біологічного об'єкту без яких-небудь хімічних дій,

$f_1(-X)$ - сигнали від проби біологічного об'єкту з хімічною дією,

$f_2(+[X+\Delta])$ - сигнали від проби біологічного об'єкту без яких-небудь хімічних дій із адитивним додатком,

$f_3(-[X+\Delta])$ - сигнали від проби біологічного об'єкту з хімічною дією та адитивним додатком.

Δ - адитивний додаток, яка має точність установки не пере $\pm 1\%$

Далі в блоці узгодження 25 здійснюють статистичну обробку даних та розрахунок безрозмірної величини реакції біологічного тест-об'єкту за формулою

$$\delta = \frac{X_{\text{дослід}}}{X_{\text{контроль}}}$$

В цьому випадку всі заважаючі фактори, про які вказувалось раніше, автоматично ураховуються

Особливістю вимірювального комплексу є абсолютна синхронізація усіх тактів вимірів із витриманням часових тактів вимірів. Отримана інформація у вигляді відносно величини 8 виводиться в блоці узгодження 25 для використання оператором та додатково блоці відображення 24 для вторинної обробки з формуванням бази даних. Вся проміжна інформація накопичується в спеціальних файлах, які використовуються для спеціальних обробок. Час виміру кожної проби з \ рахуванням часу інкубації встановлюється із зсувом з ціллю мінімізування динамічних ефектів взаємодії біологічних тест-об'єктів з токсикантом. Захисний екран 36 і 37 від зовнішніх факторів впливу як систематичних так і випадкових забезпечують підвищену перешкоду стійкості процесу виміру функціональних показників життєдіяльності біологічного тест-об'єкту. Оцінку токсичності здійснюють шляхом побудови дозової залежності відгуку біологічного тест-об'єкту до дії токсиканта, з якої визначають діапазон мінімально діючих концентрацій та діапазон максимально переносних концентрацій. Ці діапазони установлюють за півшириною максимумів показника відносно величини δ із дозової залежності.

Після завершення всієї процедури вимірів та оцінки токсичності в блоці автоматики 8 вимикаються всі джерела живлення, при цьому вимірювальні камери реакції 26 і 27 промиваються або убираються у випадку використання одноразових комплектів.

Використання запропонованого пристрою найбільш ефективне в медико-біологічному приладобудуванні, частково, в технології біохімічного очищення стічних вод, санітарної токсикології й екологічного моніторингу, а також при скринінгу біологічної активності хімічних речовин і препаратів.

Використання запропонованого пристрою в порівнянні з існуючими технічними засобами контролю токсичності водного середовища має такі

переваги

об'єктивність і точність аналізу функціонального стану біологічного тест-об'єкта в задачах біотестування при оцінці токсичності і біологічної активності хімічних речовин, тому що засіб базується на фундаментальній властивості життєдіяльності біологічних систем - параметричній чутливості,

універсальність структурної блок-схеми,

низькі працевтрати на проведення аналізів при біотестуванні й експрес-контролю токсичності хімічних речовин, що утримуються у водному середовищі за рахунок того, що вимірювальний комплекс практично автоматизований,

економічність за рахунок малих витрат біологічного об'єкту і хімічних реагентів (а також енерговитрат)

Джерела використаної інформації

1 Крайнюкова А Н Состояние и перспективы применения методов биотестирования для оценки загрязнения водной среды / В сб Экологическая химия водной среды - М, 1988 - С 108-124

2 Богомазов О А и др Электрохимические методы биотестирования сточных вод - Екатеринбург Уральский рабочий, 1997 - 207 с, - С 39

3 Мацковский В И Общая структурная схема оперативного контроля качества водной среды с использованием биотестирования - В сб научн трудов Биологическое действие факторов окружающей среды - Харьков Харьковский гос мед у-т, Харьковская гор сан-эпид станция, 1996 - С 9-13

4 Примак А В, Кафаров В В, Качиашвили К И Системный анализ контроля и управления качества воздуха и воды - К Наукова думка, 1991 - 360 с - С 110-143, 148-203

5 Гениатулин К В, Шелест В Н Проблемы метрологического обеспечения контроля природной водной среды методами биологического тестирования // Измерительная техника, 1987 - № 9 - С 55-57

6 Богомазов О А и др Автоматизированный контроль качества природных и сточных вод - Екатеринбург Уральский рабочий, 1997 - 239 с, - С 47-182

7 Мацковский В И Основные свойства биологических систем для учета в задачах биотестирования - В сб Трудов VII Межд-й научно-технической конференции « Экология и здоровье человека Охрана водного и воздушного бассейнов Утилизация отходов» - Харьков Гос НИИ УкрВОДГЕО, 1999 - С 74-75

8 Методическое руководство по биотестированию воды РД 118-02-90 - М 6 Госкомприроды СССР, 1991 - 48 с

9 Чернышов С И, Мацковский В И, Зайцева О В, Жуков В И Метрологические проблемы в задачах биотестирования и оценки токсичности природных и сточных вод - В сб Трудов VII Межд-й научно-технической конференции « Экология и здоровье человека Охрана водного и воздушного бассейнов Утилизация отходов» - Харьков Гос НИИ УкрВОДГЕО, 1999 - С 44-46

10 Мацковский В И Экспериментально - методическое исследование действия загрязнителей на гидробионты для разработки контроля качества водной среды Дисс на соискание уч степени

14 Крайнюкова А Н Биотестирование в охране вод от токсического загрязнения // В сб Проблемы охраны окружающей природной среды - Харьков Укр НЦОВ, 1996 - С 154-169

15 Крайнюкова А Н Биотестирование в системе оценки и контроля источников токсического загрязнения водной среды Автореф дис на соискание уч степени д бяол наук - Купавна, 1991 - 39 с

[illegible]

The diagram shows a control system for a mechanical drive. It features a feedback loop where the output BO is compared with a reference λ at a summing junction. The error signal passes through a block labeled 0 and $bA1$, then through a gain block $K1$ to the summing junction. The forward path consists of blocks $ПВН$, $ПНН$, $БВ$, and $ВН$, which ultimately produce the output BO .

Fig 4

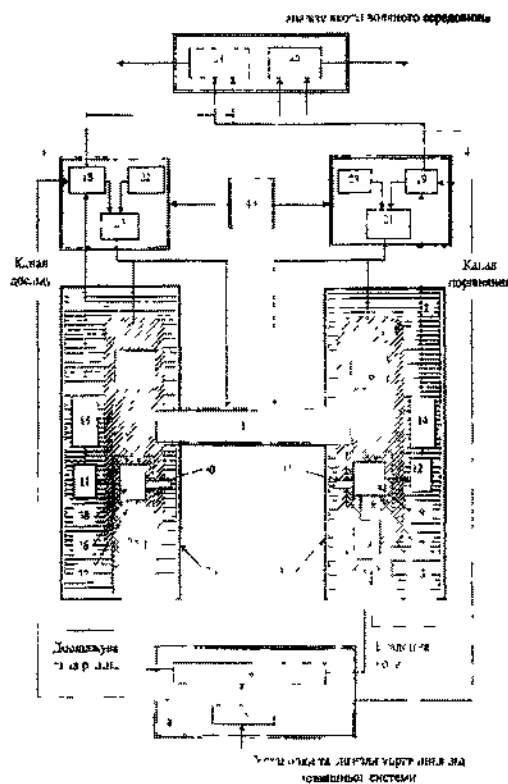


Fig. 5

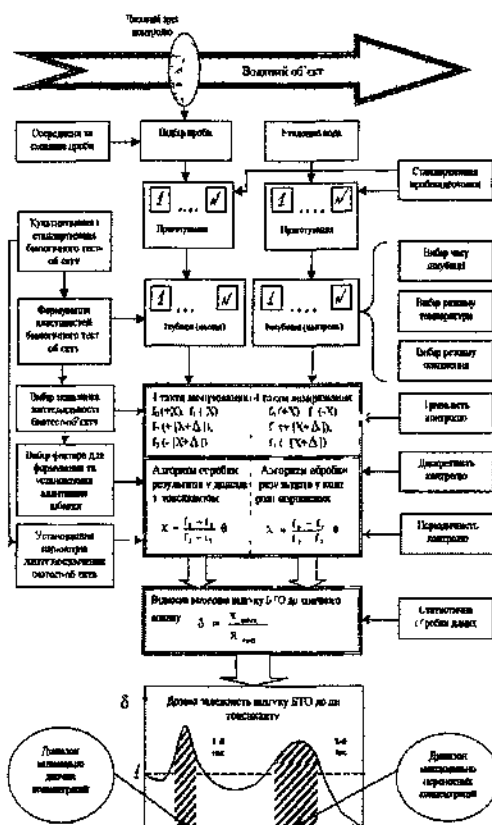


Fig. 6

