

С. М. Кватернюк  
Флорес Кастельяно Джоана Адріана  
Лема Мопосіта Абігаіл Александра

## ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ВИЗНАЧЕННЯ РІВНІВ ТОКСИЧНОСТІ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ЕКОЛОГО-ТОКСИКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ

Вінницький національний технічний університет

***Анотація** В роботі запропоновано підходи до вдосконалення методів та засобів визначення рівнів гострої летальної і хронічної токсичності води у ході впровадження рамкової водної директиви Європейського Союзу. Актуальність теми зумовлена необхідністю оперативного контролю інтегральних параметрів, що характеризують стан екосистем природних водних об'єктів. Метою роботи є вдосконалення методів та засобів мультиспектрального вимірювального моніторингу для підвищення точності контролю інтегральних параметрів забруднення стічних вод, що необхідно для забезпечення їх ефективного очищення з використанням вищих водних рослин. Вдосконалено комплекс для очищення стічних вод, який доповнено системою мультиспектрального вимірювального контролю інтегральних параметрів забруднення. Результати даної роботи можна у спеціалізованих лабораторіях екологічних інспекцій для експрес-контролю параметрів стічних вод.*

**Ключові слова:** екологічний моніторинг, мультиспектральні вимірювання, вода, макрофіти, біоіндикація.

***Abstract** The thesis proposes approaches to improving methods and means for determining the levels of acute lethal and chronic toxicity of water during the implementation of the European Union Water Framework Directive. The relevance of the topic is due to the need for operational control of integral parameters characterizing the state of ecosystems of natural water bodies. The aim of the work is to improve the methods and tools of multispectral measurement control to improve the accuracy of monitoring the integral parameters of wastewater pollution, which is necessary to ensure their effective purification using higher aquatic plants. The complex for wastewater treatment has been improved, which is supplemented with a multispectral monitoring system for integrated pollution parameters. The results of this work can be done in specialized laboratories of environmental inspections for the express control of wastewater parameters.*

**Keywords:** ecological monitoring, multispectral measurements, water, macrophytes, bioindication.

Актуальність теми зумовлена необхідністю оперативного контролю інтегральних параметрів, що характеризують стан екосистем природних водних об'єктів. Інтегральний контроль забруднення можливо здійснювати за допомогою біоіндикації по різноманітним водним організмам. Використання макрофітів, як індикаторів екологічного стану водойм видається надзвичайно привабливим, адже вони – видимий і зручний для спостережень об'єкт. У Директиві 2000/60/ЕС макрофіти розглядаються як важливий «елемент якості для класифікації екологічного статусу» природних та «екологічного потенціалу» сильно змінених та штучних водних об'єктів. При цьому, для річок і озер, як «елемент біологічної якості» рекомендується використовувати вищі водяні рослини. При дослідженні сильно змінених і штучних водних об'єктів рекомендується використовувати «біологічні елементи якості» за характеристиками таких типів природних поверхневих водних об'єктів, з якими найбільш схожі досліджувані водойми. В якості одного з методів, що дозволяє оперативно отримати інформацію про порушення нормального функціонування водних екосистем, використовується аналіз їх оптичних параметрів у видимому та ближньому інфрачервоному діапазоні спектра з допомогою приладів дистанційного контролю. Цей метод моніторингу водних об'єктів до теперішнього часу не знайшов широкого застосування в системі моніторингу водних об'єктів прісноводних екосистем річок та озер. Вдосконалені багаторівневі системи оптичного мультиспектрального контролю дозволяють здійснювати неперервний моніторинг екологічного

стану водних об'єктів, що дозволяє зменшити собівартість моніторингових екологічних досліджень з підвищенням їх природоохоронної ефективності.

Водна Рамкова Директива (2000/60/ЕС) - всеохоплюючий законодавчий акт, що встановлює, зокрема, чіткі цілі щодо якості всіх водних ресурсів Європи. Держави-члени ЄС, Норвегія та Європейська комісія у співпраці розробили Спільну Стратегію підтримки впровадження Директиви 2000/60/ЕС, що встановлює рамки діяльності Співтовариства у сфері водної політики (далі – Спільна Стратегія з впровадження (ССВ) Водної Рамкової Директиви (ВРД)). Основна мета стратегії полягає у забезпеченні послідовного та гармонійного впровадження цієї Директиви. Основну увагу приділено методологічним питанням, пов'язаним із загальним розумінням технічних і наукових аспектів Водної Рамкової Директиви.

У Директиві встановлені рамки захисту всіх водойм (включаючи внутрішні поверхневі води, перехідні води, прибережні води і підземні води), які: попереджують подальше руйнування, захищають і покращують стан водних ресурсів; сприяють відтворювальному використанню води, заснованому на довгостроковій охороні доступних водних ресурсів; спрямовані на вдосконалення охорони та покращення водного середовища, в т. ч.; за допомогою конкретних заходів для поступового зменшення скидів; викидів і втрат пріоритетних речовин та припинення або ліквідації скидів, викидів і втрат пріоритетних небезпечних речовин; забезпечує поступове зменшення забруднення підземної води і запобігає її подальшому забрудненню та сприяє зменшенню наслідків від паводків та посух.

Метою роботи є вдосконалення методів та засобів мультиспектрального вимірювального контролю для підвищення точності контролю інтегральних параметрів забруднення стічних вод, що необхідно для забезпечення їх ефективного очищення з використанням вищих водних рослин. Вдосконалено комплекс для очищення стічних вод, який доповнено системою мультиспектрального вимірювального контролю інтегральних параметрів забруднення.

#### **Метод мультиспектрального телевізійного вимірювального контролю інтегральних параметрів забруднення з використанням вищих водних рослин**

Відомо метод біотестування води і ґрунту на забруднення поллютантами на основі вітального забарвлення для оцінки фітотоксичності компонентів агроценозів, при якому для визначення пошкодження листеця підраховують кількість мертвих клітин, забарвлених барвником і складають бонітувальну шкалу ушкодження біотестера. Недоліком методу є необхідність використання барвника сафраніна для визначення ушкоджених ділянок або всієї листової пластинки, що ускладнює процедуру визначення якісного складу та чисельності листеців ряски, що зменшує достовірність контролю забруднення водних об'єктів.

Метод комплексної фітоіндикації стану закислення поверхневих вод за допомогою тест-об'єкта ряски малої (*Lemna minor* L.), який полягає у тому, що рослини ряски поміщають у модельні водойми, що мають різне значення водневого показника та концентрацію сульфат- та нітрат іонів, визначають коефіцієнт росту шляхом зважування, за результатами аналізу складають шкалу забруднення. При цьому додатково визначають зміну водневого показника у модельних водоймах, появу у рослин ряски хлорозів та некрозів, зміну росту та кольору коренів. Проводять спектрофотометричне визначення хлорофілів та каротиноїдів в загальному екстракті та спектрофотометричне визначення активності реакції Хілла у хлоропластах по швидкості відновлення акцептора електронів. Далі складають шкалу фазових реакцій ряски малої (*Lemna minor* L.) на зміну умов існування. Недоліком даного методу є те, що він вимагає для визначення хлорофілів та каротиноїдів у листецях ряски виготовляти з них екстракт, що виключає їх подальше використання у якості тест-об'єкту, крім того дослідження наявності у листеців ряски хлорозів та некрозів здійснюється оператором суб'єктивно, що впливає на достовірність фітоіндикації стану закислення поверхневих вод.

Для підвищення достовірності екологічного контролю забруднення водних об'єктів за допомогою ряски малої (*Lemna minor* L.) необхідно вдосконалити метод мультиспектрального телевізійного вимірювального контролю забруднення водних об'єктів таким чином. Рослини ряски поміщають у модельні водні середовища та складають шкалу забруднення, доповнено тим, що модельні водні середовища з листецями ряски малої витримують протягом 7–14 діб при заданій температурі і освітленні, при цьому кожної доби за допомогою апаратно-

програмного блоку керування та обробки мультиспектральних зображень визначають відносні розміри зон водного середовища, які відповідають листцям ряски без морфологічних змін, з морфологічними змінами і чистої поверхні води за допомогою аналізу мультиспектральних зображень, які отримують за допомогою ширококутної CCD-камери при освітленні поверхні водних середовищ світлодіодними джерелами на характеристичних довжинах хвиль хромофорів ряски, а концентрацію забруднюючої речовини у досліджуваній пробі визначають за допомогою регресії результатів експериментальних досліджень залежності відносних розмірів зон водного середовища від концентрації забруднюючих речовин на основі мультиспектральних досліджень ряду проб з відомими концентраціями. На рис. 1 представлена структурна схема засобу контролю, що реалізує запропонований метод.

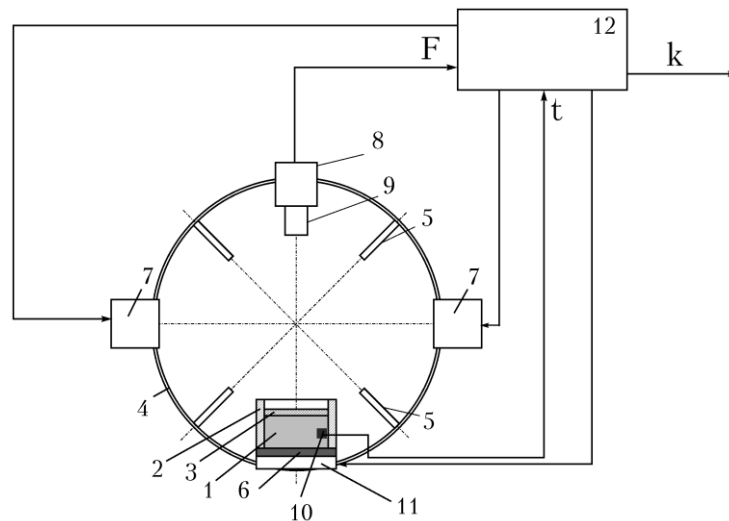


Рисунок 1 – Засіб мультиспектрального телевізійного вимірювального контролю забруднення водних об'єктів за допомогою ряски малої (*Lemna minor* L.)

Засіб контролю містить модельне водне середовище 1 у кварцовій кюветі 2, плаваючий шар тест-об'єкта ряски малої (*Lemna minor* L.) 3, інтегрувальну сферу 4 вкриту дифузно відбиваючим покриттям на основі сульфату барію, екрани 5 та підложку 6 з покриттям ідентичним до інтегрувальної сфери, джерела випромінювання 7, телевізійну CCD-камеру 8, об'єктив 9, датчик температури 10, нагрівальний елемент 11, апаратно-програмний блок керування та обробки мультиспектральних зображень 12.

Для очищення води від забруднень з підвищеною екологічною небезпекою існують комплекси, які складаються із корпусу біореактора, заповненого водою і шаром вищих водних рослин, трубопроводів подачі води на очищення та відводу очищеної води. При цьому корпус біореактора виконаний із використанням термоізоляційних матеріалів і додатково обладнаний світлопрозорим покриттям, а також системою терморегулювання внутрішнього простору і води, яка включає додаткові конвекторні трубопроводи, розташовані в корпусі біореактора, крім того як шар вищих водних рослин використовується ейхорнія (*Eichhornia crassipes*), поверхня води покрита додатковим плаваючим термоізолюючим матеріалом. Ейхорнія-комплекс для очищення води від забруднень з підвищеною екологічною небезпекою використовує систему терморегулювання внутрішнього простору і води, які призначені для спалювання екологічно небезпечних органічних і муніципальних відходів, висушених мулу очисних споруд і вищих водних рослин із отриманням теплової і електричної енергії. Недоліком комплексу є відсутність контролю інтегральних параметрів забруднення води, що проходить через біореактор, а також контролю стану вищих водних рослин, які використовуються для очищення води.

Для підвищення ефективності очищення стічних вод з використанням вищих водних рослин, а також забезпечення достовірного контролю інтегральних параметрів забруднення води пропонується у комплекс для очищення стічних вод та мультиспектрального телевізійного

вимірювального контролю інтегральних параметрів забруднення з використанням вищих водних рослин, що складається із корпусу біореактора, заповненого водою і шаром вищих водних рослин, трубопроводів подачі води на очищення та відводу очищеної води, системи терморегулювання внутрішнього простору і води, плаваючого термоізолюючого матеріалу, введено світлодіодні освітлювачі, ПЗЗ-камеру, блок імпульсного керування освітлювачами, мікроконтролерний пристрій, блок керування та обробки мультиспектральних зображень, причому світлодіодні освітлювачі працюють на характеристичних довжинах хвиль хромофорів вищих водних рослин і підключені до блоку імпульсного керування освітлювачами, ПЗЗ-камера з'єднана з входом блоку керування та обробки мультиспектральних зображень на базі персонального комп'ютера, який під'єднано через мікроконтролерний пристрій до блоку імпульсного керування освітлювачами та системи терморегулювання внутрішнього простору і води.

На рис. 2 представлена схема комплексу для очищення стічних вод та мультиспектрального телевізійного вимірювального контролю інтегральних параметрів забруднення з використанням вищих водних рослин.

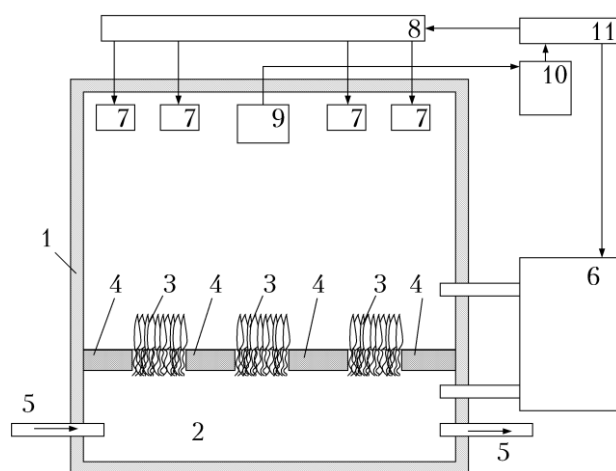


Рисунок 2 – Комплекс для очищення стічних вод та мультиспектрального телевізійного вимірювального контролю інтегральних параметрів забруднення з використанням вищих водних рослин

Комплекс містить корпусу біореактора 1, заповнений водою 2, шаром вищих водних рослин 3 та плаваючим термоізолюючим матеріалом 4. До корпусу біореактора під'єднано трубопроводи подачі води на очищення та відводу очищеної води 5, систему терморегулювання внутрішнього простору і води 6. У корпусі біореактора розміщено світлодіодні освітлювачі 7 підключені до блоку імпульсного керування освітлювачами 8. Також у корпусі біореактора розміщена ПЗЗ-камера 9, що з'єднана з входом блоку керування та обробки мультиспектральних зображень на базі персонального комп'ютера 10, який під'єднано через мікроконтролерний пристрій 11 до блоку імпульсного керування освітлювачами 9 та системи терморегулювання внутрішнього простору і води 6.

### Висновки

У результаті діяльності людини у водні об'єкти разом з промисловими, комунальними та сільськогосподарськими стоками надходить велика кількість різноманітних забруднюючих речовин: важкі метали, біогенні речовини, сполуки органічного походження (пестициди, поверхнево-активні речовини, нафтопродукти) тощо. Це призводить до надмірного антропогенного навантаження та порушення рівноваги екосистем водних об'єктів. Контроль забруднення водного об'єкту промисловими підприємствами вимагає періодичного вимірювання всіх параметрів, що призводить до суттєвих витрат як на самі лабораторні дослідження, так і на транспортування проб з визначених місць відбору. Внаслідок того, що суб'єкти державного моніторингу водних об'єктів мають обмежені фінансові можливості,

контроль екологічного стану природних водних об'єктів здійснюється досить рідко. У проміжках між вимірюваннями реальний стан забруднення водних об'єктів не контролюється, що призводить до зростання забруднення водних об'єктів та суттєвого погіршення їх екологічного стану. Вищі водні рослини володіють здатністю видаляти з води забруднюючі речовини: біогенні елементи (азот, фосфор, калій, кальцій, магній, марганець, сірку), важкі метали (кадмій, мідь, свинець, цинк), феноли, сульфати, нафтопродукти, синтетичні поверхневоактивні речовини, і поліпшити такі показники органічного забруднення середовища, як біологічне споживання кисню і хімічне споживання кисню. Запропоновані вдосконалені методи та засоби мультиспектрального телевізійного вимірювального контролю з використанням біоіндикації по вищим водним рослинам дозволяють з високою достовірністю контролювати інтегральні параметри забруднення та токсичність стічних вод. У роботі вдосконалено метод мультиспектрального телевізійного вимірювального контролю інтегральних параметрів забруднення з використанням біоіндикації по вищим водним рослинам, що дозволило підвищити достовірність контролю забруднення стічних вод. Вдосконалено комплекс для очищення стічних вод, який використовує біореактор заповнений вищими водними рослинами, що підвищило ефективність їх очищення. Запропонована технологія захисту навколишнього природного середовища може бути використана для очищення стічних вод житлово-комунальних та промислових підприємств.

*Кватернюк Сергій Михайлович* – докторант, к.т.н., доцент кафедри екології та екологічної безпеки;

*Флорес Кастельяно Джоана Адріана* – студент групи ЕКО-14, Інститут екологічної безпеки та моніторингу довкілля, Вінницький національний технічний університет.

*Лема Моносіма Абігаїл Александра* – студент групи ЕКО-14, Інститут екологічної безпеки та моніторингу довкілля, Вінницький національний технічний університет.

*Kvaternyuk Sergei Mikhailovich* – doctoral student, Ph.D., Associate Professor of the Department of Ecology and ecological safety, Vinnytsia National Technical University, e-mail: serg.kvaternuk@gmail.com;

*Flores Castellano Joanna Adriana* – the student of group EKO-14, Institute for Environmental Security and Environmental Monitoring Vinnytsia National Technical University.

*Lemos Mozosti Abigail Alexandra* – the student of group EKO-14, Institute for Environmental Security and Environmental Monitoring Vinnytsia National Technical University.