

Для випадку розбиття на п'ять піддіапазонів, як показано на рис. 2, формула (5) набере вигляд:

$$\delta = \begin{cases} \frac{\Delta p_{\max}}{\Delta p} \cdot 0.075, & \text{для } 0.375\Delta p_{\max} < \Delta p \leq \Delta p_{\max}; \\ \frac{0.375\Delta p_{\max}}{\Delta p} \cdot 0.075, & \text{для } 0.14\Delta p_{\max} < \Delta p \leq 0.375\Delta p_{\max}; \\ \frac{0.14\Delta p_{\max}}{\Delta p} \cdot 0.075, & \text{для } 0.053\Delta p_{\max} < \Delta p \leq 0.14\Delta p_{\max}; \\ \frac{0.053\Delta p_{\max}}{\Delta p} \cdot 0.12, & \text{для } 0.02\Delta p_{\max} < \Delta p \leq 0.053\Delta p_{\max}; \\ \frac{0.02\Delta p_{\max}}{\Delta p} \cdot 0.275, & \text{для } 0 < \Delta p \leq 0.02\Delta p_{\max}. \end{cases} \quad (6)$$

Значення класу точності при роботі перетворювача на третьому піддіапазоні $S_3=0.12$ та четвертому $S_4=0.275$ визначені за формулою (2).

Запропонований метод розширення діапазону вимірювання витрати реалізований нами в системі вимірювання витрати та кількості природного газу на базі

обчислювача ОВК-ПГ (НПВП "Техприлад", м. Львів) [5]. Програма обчислювача реалізує алгоритм встановлення піддіапазонів, який дає змогу поділити весь діапазон вимірювання не більш ніж на вісім піддіапазонів. Для вимірювання тиску та перепаду тиску в цій системі застосовуються вимірювальні перетворювачі Hartmann&Braun класу точності 0.1 або Fisher-Rosemount класу точності 0.075.

1. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества. – Л., 1989.
2. Ковела И.М., Ситницький Ю.И. О расширении диапазона измерений расходомеров переменного перепада давления. Контрольно-измерительная техника // 1974. – Вып.16. – С. 91-95.
3. Model 3051C Differential pressure transmitter. Product Data Sheet PDS 4622. Rosemount Inc. 1999.
4. Model 621D Differential pressure transmitter. Specification Sheet. ABB Instrumentation Inc., 1999.
5. Пістун С.П. Облік та економія природного газу. // Нафтова і газова промисловість. 2000. – №2. – С. 43-47.

УДК 681.142.37

АНАЛІЗ СТАНУ ЗАБРУДНЕННЯ РІКИ НА ОСНОВІ КРИТЕРІЮ ВМІСТУ КИСНЮ

© Тадеуш Кватер, Здіслав Кендзьора, 2001

Ряшівський педагогічний університет, вул. Рейтана, 16, 35-959, Ряшів, Польща

Запропоновано систему моніторингу стану забруднення ріки на основі аналізу критерію вмісту кисню, яка може на основі тільки одного замірювання надати інформацію про рівень забруднення ріки з певним випередженням, що дає змогу ефективніше реагувати у разі виникнення екологічної небезпеки.

Предложена система мониторинга состояния загрязнения реки на основании критерия содержания кислорода. Эта система, используя только данные единичных измерений, дает информацию о состоянии загрязнения реки с определенным упреждением, что позволяет эффективно реагировать в случае возникновения экологической катастрофы.

The system of monitoring of pollution state of river based on the analysis of oxygen contents criterium is proposed in this paper. The proposed system of monitoring and control can supply information about level of river pollution on the basis of only one measurement and can supply information with some predictiveness which give opportunity for effective reaction in the case of ecological emergency.

Наявність чистої води в річках є важливою проблемою, оскільки це чи не єдине джерело питної води для мешканців міст. Впродовж багатьох років, коли забруднення деяких річок привело до зникнення в них життя, вживаються заходи для покращання стану рік. Для ефективного розв'язання цієї проблеми недостатнім є лише побудова очисних споруд, необхідним також є постійний контроль забруднених викидів та швидкий вплив на ситуацію в критичних випадках. Не

можна виключати можливість виникнення аварії очисних споруд або приплив великої кількості органічних забруднень з сільськогосподарських угідь чи комунальних споруд, у випадку сильних дощів. Такі забруднення можуть привести до пониження рівня кисню до величини, за якої зникає біологічне життя в ріці. Навіть короточасна нестача кисню може призвести до екологічної катастрофи, а зародження життя в ріці потребує десятків років.

Система контролю та регулювання рівня забруднення буде дієвою тільки тоді, коли вона буде дуже швидко реагувати на різні збурення. Це можливо лише тоді, коли ми будемо швидко отримувати інформацію про стан забруднення ріки. Органічні сполуки, які знаходяться у воді, розпадаються внаслідок діяльності живих бактерій та інших мікроорганізмів. Для мінералізації органічних сполук, що знаходяться у воді, необхідна відповідна кількість кисню, що називається біохімічною потребою кисню (БПК). Цей термін суто умовний і виражає кількість кисню в мг на 1 дм³ води (стоків), необхідної для біохімічного окислення органічних сполук у воді при температурі 293 К (20⁰ С).

Швидкість біохімічного окислення є нерівномірною. На початку мінералізація відбувається дуже інтенсивно, а потім поступово призупиняється. Для поверхневих вод впродовж 5 перших днів біохімічна потреба кисню становить 68 % від повної БПК. На практиці цей період достатній для оцінки ступеня забруднення води або стоків. Вибирають також період 20 діб. Хоча БПК не може бути єдиним показником рівня забруднення води, однак в окремих випадках, яким є випадок визначення рівня забруднення великих рік, така оцінка базується на критерії кисню і його математичній інтерпретації.

Запропонований підхід на основі використання даних моделей і реальних замірів з ріки може віднайти естимачію стану забруднення в ріці. Стан ріки можна описати за допомогою математичної моделі, побудованої на рівняннях Стрїтера-Фелпса, в яких стан ріки відображено за допомогою показників: біохімічної потреби кисню (БПК) і кисню, розчиненого у воді (РК). Для визначеної кількості рівнянь вони набирають вигляд:

$$\frac{d}{dt}x_1 = -k_1x_1; \quad \frac{d}{dt}x_2 = -k_2x_1 + k_3(x_{2N} - x_2) + a + u, \quad (1)$$

де x_1 (мг/літр) – ступінь забруднення, виражений через БПК; x_2 (мг/літр) – степінь розчиненого кисню РК; k_1 (1/добу) – коефіцієнт швидкості реакції; k_2 (мг/літр) – коефіцієнт швидкості зменшення РК внаслідок наявності БПК; k_3 (1/добу) – коефіцієнт швидкості забору кисню з атмосфери; x_{2N} (мг/літр) – насичення у воді при певній температурі; a (мг/добу) – інтенсивність надходження кисню з процесу фотосинтезу або з природних осадів за день; u (мг/літр добу) – природне окислення.

Замірювання БПК, який дає інформацію про стан забруднення ріки, є довготривалим (5 або 20 днів), а замірювання РК є миттєвим.

Для конкретної роботи системи контролю необхідна інформація про ці два показники одночасно, щоб швидко відреагувати в разі необхідності. Для розв'язання цієї проблеми можемо використати фільтр Кальмана, який дає змогу при замірі лише одного показника РК визначити естимату стану ріки (БПК, РК) в пункті заміру і передбачити стан ріки до наступного пункту заміру. Це істотна особливість, яка використана в нашій системі. Процес естимачії ми можемо розділити на дві фази.

– фільтрація в моменти заміру t_k

$$X(t_k|t_k) = X(t_k|t_{k-1}) + K_F(t_k) \{ Y(t_k) - CX(t_k|t_{k-1}) \};$$

$$X(t_k|t_{k-1}) = \bar{X}_0;$$

$$P(t_k|t_k) = P(t_k|t_{k-1}) - K_F(t_k)CP(t_k|t_{k-1}); \quad (2)$$

$$P(t_k|t_{k-1}) = P_0;$$

$$K_F(t_k) = P(t_k|t_{k-1})C^T [CP(t_k|t_{k-1})C^T + V_P(t_k)]^{-1},$$

де $X(t|t_k)$ – естимата в момент t_k ; $P(t_k|t_k)$ – коваранція похибки естимачії; $K_F(t_k)$ – коефіцієнт підсилення;

– предикція між моментами заміру $t_k > t > t_{k+1}$

$$\frac{\partial}{\partial t} X(t|t_k) = A(t_k)X(t|t_k), \quad X(t|t_k);$$

$$\frac{\partial}{\partial t} P(t|t_k) = P(t|t_k)A(t)^T + A(t_k)P(t|t_k) + W_r, \quad (3)$$

де $P(t|t_k)$ – коваранція похибки естимачії для $t > t_k$, W_r – коваранція завад.

Найпростіше реалізувати тривалі в часі заміри у певних пунктах ріки. В моделі розглядається умовна ріка довжиною 500 км з трьома великими притоками. Як ми зауважили раніше, рівняння Стрїтера – Фелпса стосуються постійного об'єму води. Підхід, запропонований в роботі, визначає стан забруднення об'єму води, який переміщується вільно. В такій системі партія води, що вільно пливе, досягає місць заміру, які локалізовані вздовж ріки. Це приводить до дискретності замірів у часі. Потім використовується модель за повними рівняннями з дискретними замірами.

Фільтр Кальмана вимагає інформацію про характеристики сигналів завад, що у деяких випадках є складним завданням. Для уникнення таких моментів

застосовано штучну нейронну мережу. Вона складається із вхідної частини (3 нейрони), прихованої частини (5 нейронів) і вихідної частини (2 нейрони). Навчання здійснювалося методом зустрічного утворення помилок. За допомогою числових експериментів досліджувався вплив розміщення місць заміру, бічних приток, а також рівня завад, на утворену структуру системи моніторингу. З експериментів випливає, що застосування нейронної мережі покращує процес естиматії порівняно з класичним фільтром Кальмана. На початку, коли вхідні умови дорівнюють нулю, нейронні мережі швидше досягають стану, симульованого моделлю. Одночасно естимати, генеровані системою з нейронної мережі, достатньо точно відстежують стан ріки. Отримана естимата БПК обмежена значною помилкою, пов'язаною з відсутністю інформації про заміри. Оскільки заміри дискретні, то якість естиматії залежить від відстані між пунктами заміру. Схема з класичним фільтром Кальмана виявляє більшу гнучкість на зміну віддалі між пунктами заміру.

Особливість нейронних мереж полягає в тому, що вони стійкіші до збурень, які є значними і складними для врахування на практиці. Завдяки цьому завади менше впливають на адекватність генерованих естимат. При великих збуреннях, якими є бокові притоки, різко змінюються значення БПК і РК.

В такому випадку нейронна мережа швидше і якісніше досягає реального стану. Використовуючи естимату стану ріки, яка дає змогу передбачити ступінь забруднення до наступного місця заміру, у випадку виникнення загрози є можливість із випередженням вжити заходи, що попередять екологічну катастрофу. Є також можливість застосувати аератори або дифузійні труби, які постачають кисень безпосередньо у воду. Принцип керування базується на мінімізації похибки керування. Це означає, що генерується таке керування (постачається така кількість кисню), яке виникає з різниці між заданим значенням і естимати, залежної від

стану ріки. Керуючий вплив прямо пропорційний коефіцієнту підсилення. Прийнято окреме значення завдання для БПК і РК:

$$u = k_{p1} * (x_{10} - x_1) + k_{p2} * (x_{20} - x_2), \quad (4)$$

де k_{p1} , k_{p2} – коефіцієнти підсилення регулятора, x_{10} , x_{20} – значення завдання регулювання, $x_{1,2}$ – залежна естимата стану.

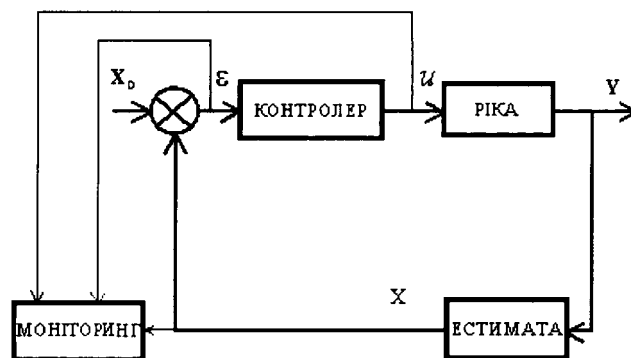


Схема системи моніторингу

Запропонована система моніторингу і керування може, на основі тільки одного заміру надати інформацію про рівень забруднення ріки з певним випередженням, що дає змогу ефективніше реагувати у разі виникнення екологічної небезпеки.

1. Hertz J., Krogh A., Palme G. *Introduction to the theory of neural computation*, Massachusetts, 1991.
2. Rinaldi B., Soncini Sessa R., Stehfer H., Tamura H. *Modeling and control of river quality*, Mc Graw-Hill Inter Book Company, 1979.
3. Tadeusiewicz R. *Neural Networks PWN: Warsaw, 1993.*
4. Kwater T., Kedzior Z., Pekala R. *The mathematical Model of Long River and Neural Network in Estimation Process. MATHMOD'97, Viena.*
5. Kedzior Z., Twarog B., Gomolka Z. *The Neural Network as the estimator of pollution in ecological problems. EANN'97, Stockholm.*
6. Kedzior Z. *Ekspertymety symulacyjne dla obiektu ciaglego z dyskretnymi pomiarami w ukladzie z siecia neuronowa. 3rd International Modelling School – Crimea'99, Ukraine.*