

Система Оперативного Контролю Органіки у Природній і Питній Водах

Олександр Малько
Кафедра інформатики
Прикарпатський національний університет
Івано-Франківськ, Україна
malko.pochta@gmail.com

Анастасія Малько
Кафедра математичних методів в інженерії
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу
Івано-Франківськ, Україна
malko@pochta.ru

System of Operative Control Organic Matter in Natural and Drinking Water

Oleksandr Malko
dept. of Informatics
Precarpathian National University
Ivano-Frankivsk, Ukraine
malko.pochta@gmail.com

Anastasija Malko
dept. of of Mathematical Methods in Engineering
Iv.-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas
Ivano-Frankivsk, Ukraine
malko@pochta.ru

Анотація—Наведені прикладні аспекти математичного моделювання процесу пульсації рідинного меніска на предмет контролю органіки у природній і питній водах

Abstract—The applied aspects of mathematical modelling of the pulsation process of a liquid meniscus for control of organic matter in natural and drinking water

Ключові слова—рідинний меніск, капілярна поверхня, гістерезис, пульсація, поверхневий натяг, система.

Keywords—liquid meniscus, capillary surface, hysteresis, ripple, surface tension system

I. ВСТУП

Вияткова важливість отримання достовірної та оперативної інформації про загальний зміст органічних домішок в питних, природних і стічних водах в поєднанні з недоліками стандартного методу визначає актуальність даного дослідження, спрямованого на вивчення експресного методу контролю забруднення вод органічними речовинами.

Поверхнево-активні властивості мають більшість органічних сполук (поверхнево-активні речовини - ПАВ): спирти, кислоти, аміни, гидроперекиси, кетони, ефіри, солі карбонових кислот та ін [1]. Таким чином, інформація про вміст у воді ПАВ може також служити інтегральної оцінкою ступеня її чистоти на предмет органічних включень.

Для контролю органіки шляхом вимірювання динамічного або рівноважного поверхневого натягу (ПН) на границі рідина-газ, в даний час, використовується міжфазна тензометрія яка є вельми чутливим методом аналізу малих концентрацій ПАВ [2].

Найбільш поширеними на теперішній час є методи, засновані на аналізі форми краплі або бульбашки, практично не мають обмежень за часом контролю процесу адсорбції, що дає можливість визначення мікроконцентрацій органічних включень [3]. Однак даний метод має ряд істотних недоліків: вплив випаровування рідини на зміну обсягу меніска бульбашки при тривалому процесі дослідження; неможливість оперативного контролю концентрації органіки; неможливість використання в автоматизованих системах контролю.

За результатами математичного моделювання процесу пульсації рідинного меніска в околиці максимального тиску в системі замкнутої щодо кількості газової фази [4] запропоновано новий метод визначення динамічного поверхневого натягу за виміряним тиску в пульсуючому меніску.

II. МЕТОД ПУЛЬСУЮЧОГО МЕНІСКУ

Сутність методу полягає в тому, що шляхом прямого і зворотного подачі газу в пляшечку, реалізується процес пульсації меніска в околиці максимального тиску в ньому, значення якого однозначно визначає поверхневий натяг на кожному циклі. Ефект полягає в тому, що бульбашка при

кожному циклі не починає після проходження максимального тиску, а переходить в новий стійкий стан рівноваги, тобто процес адсорбції поверхнево-активних речовин здійснюється на одну і ту ж поверхню розділу фаз. Основні теоретичні положення, на яких ґрунтується запропонований метод дослідження динамічного ПН рідин, а саме: суть методу пульсуючого меніска, математичний опис процесу зростання меніска на торці вертикально зануреного в рідину капіляра, особливості зміни параметрів меніска при переході через екстремальні стану наведені в працях [4]. Можливість реалізації запропонованого методу теоретично обґрунтована шляхом розробки математичної моделі процесу пульсації бульбашки в околиці максимального тиску в системі замкнутої щодо кількості газової фази.

На рис.1 наведено фрагмент залежності $V(\Delta V)$ з вираженим вигином і відповідна їй візуалізація положень об'єму меніска для , що пояснює процес гістерезису. При витискуванні газу об'єм меніска зростає у напрямі 1-2. У точці 2 відбувається перехід 2-3, тобто стрибкоподібний ріст об'єму меніска. Наступна подача газу приводить до росту меніска у напрямі 3-4. Зворотній хід поршня від точки 4 відбувається по шляху 4-3-5. У точці 5 відбувається різке зменшення об'єму меніска по напрямку 5-6. При подальшому зменшенню об'єму системи (втягування газу) процес йде по шляху 6-1. При циклічному процесі витискування – втягування відбувається виражений ефект гістерезису по всіх характеристиках меніска (об'єму, тиску, площі поверхні тощо). Причому амплітуда петлі гістерезису залежить від радіуса вимірювального капіляра, початкового об'єму системи подачі і ПН досліджуваної рідини.

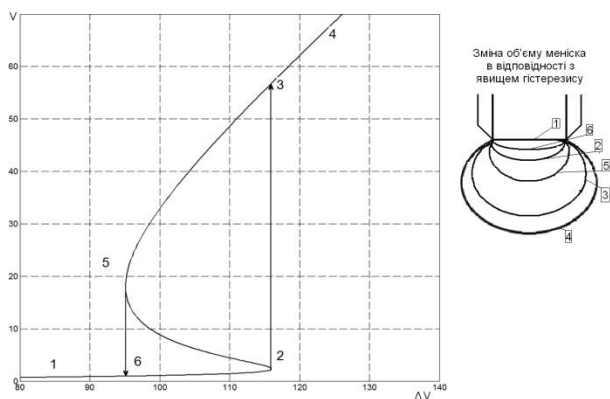


Рис. 1. Гістерезис зміни об'єму бульбашки від об'єму витискування і втягування поршнем (приріст 1-2-3-4, спад 4-3-5-6-1)

Для імітації процесу пульсації меніска з розгорткою у часі (швидкість подачі об'єму ΔV стала) шляхом сплайн апроксимації з урахуванням гістерезису було здійснено приведення всіх характеристик меніска (4) ÷ (6) до рівномірної дискретизації по ΔV .

Імітація часової залежності тиску і першої похідної тиску (з оберненим знаком) у пульсуючому меніску наведені на рис.2, а. В даному випадку режим пульсації визначається реверсом подачі повітря в моменти стрибкоподібної зміни тиску у меніску. Відповідність між характеристикою $V(\Delta V)$ петлі гістерезису (рис.1), і зміни тиску у меніску на періоді пульсації відслідковується за

номерами характерних точок кривих. Так на інтервалах 6 – 2 здійснюється подача повітря, а на інтервалах 3 – 5 всмоктування, відповідний реверс в точках 3 і 6.

Результати фізичної реалізації описаного режиму пульсації тиску у бульбашці та його похідної наведені на рис.7, б. Очевидна якісна подібність часових характеристик отриманих експериментально і в результаті математичного моделювання, що говорить про адекватність розробленої моделі. Закругленості і зломи експериментальній характеристикі обумовлені негерметичністю системи подачі, наявністю мертвої зони при реверсі подачі газу, інерційністю системи.

Описаний режим пульсації є основним режимом роботи вимірювальної системи, що реалізує метод пульсуючого меніска при визначенні динамічного ПН. При його реалізації, у системі управління процесом вимірювання інформаційним сигналом є швидкість зміни тиску, тобто перша похідна по тиску в часі. Як видно з характеристик (рис.2) амплітуда сигналів імпульсів похідної добре виражена, що дає можливість їх використання в контурі управління процесом дослідження динамічного ПН розчинів ПАР методом пульсуючого меніска.

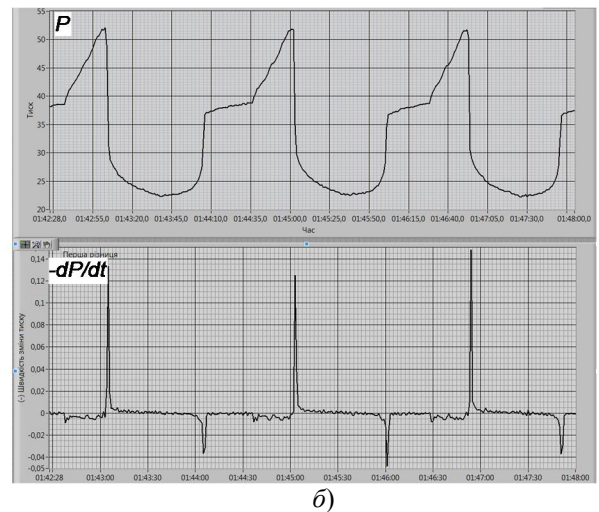
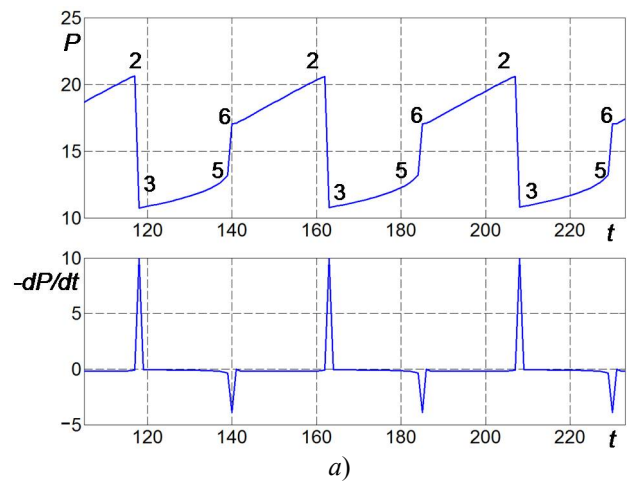


Рис.2. Часові характеристики пульсації меніска з реверсом подачі в моменти стрибкоподібної зміни тиску (а – результати моделювання; б – результати експерименту)

III. СТРУКТУРА ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЮ ОРГАНІКИ У ПРИРОДНІЙ І ПИТНІЙ ВОДАХ

Структура системи для дослідження ПН зображена на рис.4 і містить вузли, конструктивні характеристики яких базуються на результатах математичного моделювання[4]:

1 – вимірювальний капіляр з ножовим торцем, який занурюється у рідину 3 і сполучений із системою подачі повітря і одним із пліч диференціального давача тиску 4;

2 – гідростатичний компенсатор тиску з широким торцем, який занурюється в рідину 3 на однакову глибину з капіляром 1 і сполучений із протилежним плечем диференціального давача тиску 4;

3 – досліджуваний розчин;

4 – диференційний давач тиску, який вимірює різниці тисків у капілярі 1 і гідростатичному компенсаторі тиску 2;

5 – термометр опору, який вимірює температуру рідини 3 і служить для корекції результатів вимірювання ПН по температурі;

6 – вузол подачі повітря, який здійснює подачу повітря в капіляр 1 шляхом поступального переміщення плунжера у шприцевій системі;

7 – механізм переміщення плунжера вузла подачі повітря;

8 – блок обміну даними NI USB-6009, який з'єднаний через USB порт з персональним комп'ютером 9 і призначений для обробки сигналів диференційного давача тиску 4, термометра опору 5 та керування процесом вимірювання (запуском та реверсом механізму переміщення плунжера 7);

9 – персональний комп'ютер.

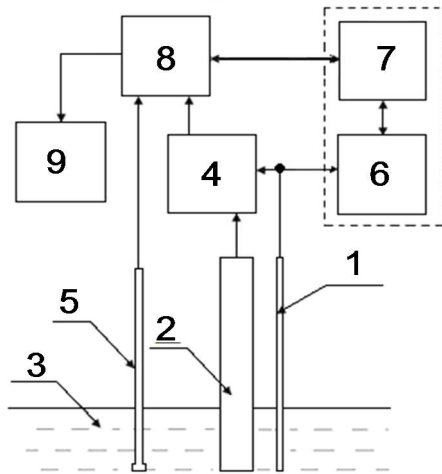


Рис. 3. Структурна системи дослідження поверхневого натягу на предмет визначення концентрації поверхнево активних речовин

IV. АЛГОРИТМ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ВИМІРЮВАННЯ ТА ОБРОБКИ ДАНИХ

Узагальнена блок-схема алгоритму програми керування процесом вимірювання та обробки даних системи, з врахуванням специфіки функціонування блоку збору даних NI USB-6009, показана на рис.5. Задана тактова частота виконання простих операцій програми в даному випадку рівна 40 кГц.

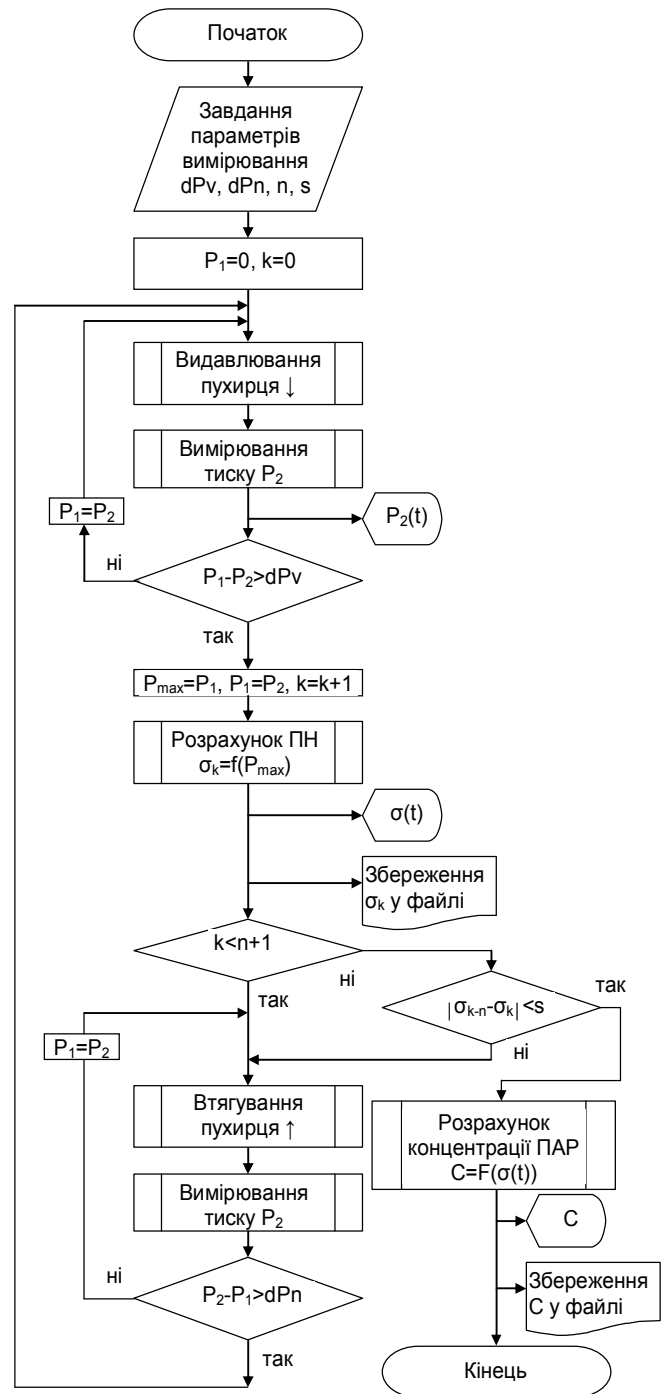


Рис. 4. Блок-схема алгоритму програми керування процесом вимірювання та обробки даних

Послідовність операцій алгоритму програми є наступною.

1) На початку функціонування програми необхідно задати основні параметри, які визначають критерії виконання керуючих функцій алгоритму. Їх значення обумовлені апріорною інформацією про область зміни динамічного ПН досліджуваного розчину ПАР. До даних параметрів слід віднести: приблизний час досягнення рівноважного ПН, радіус вимірювального капіляра, що обумовлює чутливість вимірювань, наявність шумів

сигналу вимірювань і т. п. Завдання параметрів може здійснюватись: введенням з клавіатури або зчитуватися з файлу, який попередньо введено у програмний модуль. В даному випадку задаються наступні параметри:

– dP_v – значення критерію досягнення максимального тиску у бульбашці в процесі зростання її об'єму, який визначає мінімальну величину стрибкоподібного спаду тиску після проходження максимуму (перехід 2–3, рис.1);

– dP_n – значення критерію досягнення моменту стрибкоподібного спадання об'єму бульбашки в процесі зменшення її об'єму, який визначає мінімальну величину стрибкоподібного зростання тиску (перехід 5–6, рис.1);

– n – значення зсуву номерів у послідовності вимірювань ПН для визначення умови досягнення рівноважного поверхневого натягу;

– s – значення критерію досягнення рівноважного поверхневого натягу, який визначає максимальну різницю значень у послідовності вимірювань ПН з різницею номерів n .

2) Здійснюється обнулення лічильника кількості циклів вимірювання – k і значення попереднього виміру P_1 у послідовності P_1, P_2 – вимір надлишкового тиску у рідинному меніску, з метою коректності їх подальшого порівняння.

3) Процес вимірювання починається з команди на витискування бульбашки, що реалізується поданням імпульсу логічної одиниці на відповідний цифровий вихід блоку збору даних NI USB–6009.

4) На кожному такті здійснюється вимірювання тиску у рідинному меніску P_2 , що реалізується усередненням вибірки з п'яти послідовних вимірів.

5) Результати вимірювання тиску P_2 , за бажанням користувача, відображаються на моніторі у вигляді осцилограми розгорнутої в часі.

6) Після кожного наступного вимірювання тиску P_2 здійснюється порівняння з попереднім значенням P_1 , у разі стрибкоподібного спадання тиску на величину більше ніж dP_v (досягнення максимального тиску), процес видавлювання бульбашки припиняється, у протилежному випадку, після переприсвоєння послідовності вимірів P_1, P_2 , процес витискування продовжується (перехід до п.3).4

7) При досягненні максимального тиску фіксується його значення P_{\max} , проводиться переприсвоєння значень послідовності вимірів P_1, P_2 , та здійснюється операція декрементування лічильника k .

8) За отримання значення P_{\max} здійснюється розрахунок поверхневого натягу σ побудовані для конкретного радіуса вимірювального капіляра.

9) Результати обчислень значення ПН σ виводяться на монітор у вигляді осцилограми розгорнутої в часі і, за бажанням користувача, записуються у файл для можливості наступної обробки.

10) Здійснюється оцінка на можливість перевірки досягнення рівноважного стану – кількість проведених послідовних вимірів ПН k повинна бути більша від n .

11) При виконанні попередньої умови п.10 здійснюється порівняння значень двох вимірів ПН σ у послідовності вимірювань ПН з різницею номерів n .

12) Якщо неможливо зробити перевірку досягнення рівноважного стану ($k < n+1$), або стан рівноважного

поверхневого натягу є не досягнутий, то подається команда на втягування бульбашки, що реалізується поданням імпульсу логічної одиниці на відповідний цифровий вихід блоку збору даних NI USB–6009.

13) Аналогічно як в п.4 проводиться вимірювання тиску у бульбашці P_2 , що реалізується усередненням вибірки з п'яти послідовних вимірів.

14) Після кожного вимірювання тиску P_2 здійснюється порівняння з попереднім значенням P_1 , у разі стрибкоподібного зростання тиску на величину більше ніж dP_n (стрибкоподібне зменшення об'єму бульбашки) процес втягування бульбашки припиняється, і проводиться перехід до режиму витискування (перехід до п.3).

15) У протилежному випадку, після переприсвоєння послідовності вимірювань P_1, P_2 процес втягування продовжується (перехід до п.12).

16) Якщо модуль різниці цих вимірювань є меншим значення критерію досягнення рівноважного поверхневого натягу s , то вважається, що досягнуто стан рівноважного поверхневого натягу.

17) За отриманою динамічною характеристикою $\sigma(t)$ розраховується концентрація ПАР.

18) Результати розрахунку виводяться на екран комп'ютера та можуть бути записані у заданий файл.

19) Процес вимірювання закінчено.

V. ВИСНОВКИ

На основі моделювання квазістатисти капілярних поверхонь типу лежача крапля була запропонована нова методика та синтезована інформаційно-вимірювальна система оперативного контролю мікрвоключень органічних речовин у водному середовищі за динамічним поверхневим натягом. Результати випробувань показали, що дана система дає можливість ідентифікувати за зміною динамічного поверхневого натягу дистилат, кранову, та природну води.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] В.Б. Файнерман, В.Я. Уманський, Б.С. Горелік, Д.О. Ластков, О.Г.Козаков, О контроле содержания органических соединений в питьевой и природной воде методом межфазной тензиометрии. - Вестн. гиг. епид. – 2006. – Т. 10, № 1. – С. 181 - 185.
- [2] J. Krägel, A.M. Stortini, N. Degli-Innocenti, G. Loglio, R. Miller Dynamic Interfacial Properties of Marine Microlayers // Colloids Surfaces A. – 1995. – Vol. 101, № 1. – P. 129 - 135.
- [3] V.B. Fainerman, S.A. Zholob, R. Miller, G. Loglio, Cini R. Measurement of Dynamic Surface Tension of Low-Concentration Surfactant Solutions Using a Stopped-Flow Maximum Bubble Pressure Method // Tenside Surfactants Detergents. – 1996. – Vol. 33, № 3. – P. 452 – 456.
- [4] О. Г. Малько, А. О. Малько, Математичне моделювання процесу пульсації рідинного меніска в околі максимального тиску: Міжнародна науково-практична конференція ІТКІ - 15, Прикарпатський національний університет, Івано-Франківськ, 2015. – С. 214 – 216.
- [5] V. B Fainerman, B. J. Umanskiy, B. S. Gorelik, D. O., Lastkov, O. G. Kozakov, On the control of the content of organic compounds in drinking and natural water by the method of interfacial tensiometry. Bull. of hyg. Epid. – 2006 – V. 10, №1. – P. 181-185
- [6] O. G. Malko, A. J. Malko, Mathematical modeling pulsation process of a liquid meniscus in the vicinity of the maximum pressure: International Scientific and Practical Conference ITCM-2015: Precarpath. Nation. Univ., Ivano-Frankivsk, 2017, P. 214 -216.