

18. Nazarenko, A. M. (2013). Modeling the interaction of harmonic P- and SV-waves with a periodic system of curvilinear sections based on the method of singular integral equations. *Visnyk KhNU imeni V. N. Karazina*, 1063, 125–135.

19. Nazarenko, A. M. (2015). Computational methods in problems of diffraction of elastic waves by inhomogeneities systems based on singular integral equations. Sumy: SumDU, 220.

20. Nowacki, W. (1975). *Theory of Elasticity*. Moscow: Mir, 872.

Дата надходження рукопису 12.04.2016

Мищенко Виктор Олегович, доктор технических наук, профессор, заместитель заведующего кафедры, Кафедра моделирования систем и технологий, Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина, пл. Свободы, 4, г. Харьков, Украина, 61022
E-mail: mischenko@univer.kharkov.ua

Назаренко Александр Максимович, кандидат физико-математических наук, доцент, кафедра моделирования сложных систем, Сумской государственной университет, ул. Римского-Корсакова, 2, г. Сумы, Украина, 40007
E-mail: aleksandr-nazarenko54@mail.ru

УДК 622.765:542.61:546.571

DOI: 10.15587/2313-8416.2016.69476

ВИДАЛЕННЯ СІНТЕТИЧНИХ БАРВНИКІВ ЗІ СТИЧНИХ ВОД

© Т. І. Обушенко, Н. М. Толстопалова, І. М. Астрелін

Проаналізовано сучасний стан проблеми забруднення стічних вод барвниками, розглянуто існуючі методи видалення і деструкції барвників. В якості альтернативної запропонована технологія флотоекстракції. Досліджено закономірності видалення барвника бенгальського рожевого з модельних розчинів за допомогою метода флотоекстракції. На основі проведених експериментів встановлено вплив рН середовища, тривалості процесу, мольного співвідношення реагуючих речовин та визначено раціональні умови проведення флотоекстракції

Ключові слова: барвник, флотоекстракція, поверхнево-активні речовини, стічні води, бенгальський рожевий, гексадецилтриметиламонію бромід

Current state of wastewater pollution caused by dyestuff was analyzed. Traditional techniques for dyes elimination and destruction were covered. Solvent sublation technology was proposed as an alternative method. The main characteristics of removal of rose bengal dye from wastewater by solvent sublation were investigated. The influence of pH, time, molar ratio of reactants was studied and the reasonable conditions of the process were determined

Keywords: dye, solvent sublation, surface-active substance, wastewater, rose bengal, hexadecyltrimethylammonium bromide

1. Вступ

У зв'язку з обмеженою кількістю запасів прісної води на Землі (запас доступної прісної води на планеті становить всього 5–6 тис. м³ на душу населення) проблема охорони гідросфери невпинно загострюється, хоча для її вирішення людство прикладає чималих зусиль. Ріст міст, бурхливий розвиток промисловості, інтенсифікація сільського господарства, значне розширення площі земель, що зростаються, покращення культурно-побутових умов і ряд інших факторів – всі ці чинники ще більше ускладнюють проблеми забезпечення прісною водою, незважаючи на значний вклад у захист гідросфери, за рахунок розроблення та впровадження сучасних механічних, хімічних та біологічних технологій очищення стоків. Негативний внесок створю-

ють органічні сполуки, які особливо небезпечні як забруднювачі навколишнього середовища унаслідок комплексного впливу і непрогнозованості наслідків. Шкідлива дія органічних речовин, що потрапляють у водойми, посилюється за рахунок кумулятивного ефекту (прогресуюче збільшення вмісту шкідливих сполук у кожній наступній ланці трофічного ланцюга). Серед таких органічних забруднювачів чільне місце займають барвники, які широко застосовують у різних галузях промисловості та в побуті. Сучасні синтетичні барвники зі складною хімічною структурою не підлягають біохімічній деструкції у водних системах. Їх концентрація, наприклад, у стічних водах текстильних виробництв в залежності від типу барвника коливається в межах від 5 до 40 мг/дм³, що багаторазово перевищує гранично

допустимі норми (0,05–0,5 мг/дм³) впливу на навколишнє середовище. На жаль, наявні технології очищення стічних вод від цих речовин досить часто недосконалі та неефективні [1, 2].

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Існуючі методи фізико-хімічного очищення стічних вод від барвників можна розділити на три основні групи.

Перша група методів забезпечує видалення забруднень переведенням барвників у осад або флоатшлам шляхом сорбції на пластівцях гідроксидів металів, що утворюються при реагентній обробці стічних вод (коагуляція, реагентна напірна флоатція та ін.). До недоліків цієї групи можна віднести: невисокий ступінь очищення, особливо знебарвлення, необхідність утилізації осадів водоочищення та їх зневоднення.

Друга група включає сепаративні методи (сорбція на активному вугіллі і макропористих іонітах, зворотний осмос, ультрафільтрація та ін.). Ці методи забезпечують високий ступінь очищення стічних вод, однак вимагають попередньої механіко-хімічної обробки з метою видалення нерозчинних домішок, складні в апаратному оформленні, мають високу собівартість очищення.

Третя група поєднує деструктивні методи, засновані на глибоких окисно-відновних перетвореннях, ініційованих різними фізико-хімічними процесами, зокрема дією окисників (O₂, O₃, Cl₂, H₂O₂), ультрафіолетового й сонячного випромінювання, метод Фентона. У більшості випадків при їх реалізації не утворюються осади, в оброблювану воду не вносяться додаткові забруднення у вигляді хлоридних, сульфатних і інших іонів, однак при реалізації цих методів відбувається безповоротна втрата цінних компонентів [1, 3].

Усе це зумовлює необхідність розроблення та впровадження ефективних і водночас недорогих у виконанні та експлуатації технологій очищення стічних вод від барвників. Пошук нових, більш досконалих та економічно доцільних методів, що дають можливість не тільки видаляти барвники з стічних вод, а й регенерувати дорогі компоненти, є одним з основних напрямків розвитку технології очищення стічних вод. З цієї точки зору привабливими виглядають різновиди флоатційних методів, а саме – флоатекстракція, яка є прогресивним розвитком іонної флоатції [4] і, безумовно, превалює над останньою в тих випадках, коли є небажаним утворення піни, необхідної для процесів іонної флоатції, або метою є кількісне відокремлення домішок з води для аналітичних потреб. До переваг флоатекстракції належать:

– висока ефективність відділення органічної та водної фаз;

– високий концентраційний коефіцієнт (може досягати 200:1);

– незначні витрати органічного розчинника;
– простота апаратного оформлення;
– уникнення небажаного утворення емульсій (сублат розчиняється в органічному шарі без інтенсивного перемішування водної та органічної фаз).

Флоатекстракція (як метод розділення й концентрування) вже застосовується при очищенні стічних вод від органічних домішок та в аналітичній хімії як спосіб кількісного визначення слідів металів або поверхнево-активних речовин [5].

Характерною рисою цього флоатційного процесу є спосіб відділення сфлотованої речовини (сублату) шляхом концентрування його в шарі органічної рідини на поверхні водної фази. Сублат може як розчинитися в органічному шарі, так й утворювати суспензію, що утримується завдяки змочуванню. Хоча спочатку флоатекстракція була запропонована для видалення іонів металів за допомогою ПАР, згодом цей процес був реалізований в інших випадках: при видаленні розчинних органічних речовин, при флоатції осадів і гідрофобних рідин [3]. У наш час флоатекстракція, як метод розділення й концентрування, знаходить своє застосування при очищенні стічних вод від органічних і неорганічних домішок, що перебувають у розчиненій формі й у вигляді нерозчинних у воді сполук, і в аналітичній хімії як спосіб кількісного визначення слідів металів і поверхнево-активних речовин.

Метод флоатекстракції вивчався з акцентом на видалення барвників з водних розчинів Карагеем та Каргером [6], які досліджували селективну флоатекстракцію двох барвників, метилоранжу і родаміну Б з їхніх розбавлених розчинів при рН 10,5 та гексадецилтриметиламоній бромідом в якості ПАР. Як органічний розчинник використовувався ізооктанол. Коефіцієнт відділення метилоранжу від родаміну Б з еквімолярних водних розчинів бульбашками азоту з малою швидкістю потоку (5 мл/хв.) був дуже високий і становив 510.

Дослідники Хорнг та Хуанг застосували йонну флоатцію та флоатекстракцію для видалення іншого барвника – звичайного синього 1 із синтетичних стічних вод [7]. Як ПАР було використано гексадецилтриметиламоній бромід, а як органічний розчинник – парафінову олію. Після 5 хв флоатекстракції зі швидкістю подачі бульбашок газу 150 мл/хв. було видалено більше ніж 98 % барвника.

Лу та ін. [8] розглядають видалення барвника бромфенолового синього з водного розчину при використанні гексадецилпіридиній хлориду в якості ПАР. Високий ступінь видалення барвника (більше 95 %) флоатекстракцією спостерігався через 10 хв, коли в якості органічного розчинника використовувався ізопентанол, а швидкість подачі газу була рівна 75 мл/хв.

В роботі [9] використовували додецилбензилсульфонат натрію для флоатекстракції барвника метилового фіолетового з водного розчину. Метилловий

фіолетовий екстрагувався в ізопентанол. Найбільш ефективною для видалення цього барвника виявилась стехіометрична кількість ПАР (молярне співвідношення барвник: ПАР=1:1). Через 10 хв флотоекстракції було видалено більше 97 % барвника.

В дослідженні [10] вивчали флотоекстракцію барвника бромкрезолового зеленого. В якості поверхнево-активної речовини було використано гексадецилпіридиній хлорид. Комплекс барвника з ПАР флотувався бульбашками азоту та екстрагувався в органічну фазу – ізооктанол. Після 5 хв барботування газу зі швидкістю 75 мл/хв, спостерігалось більше ніж 99 % вилучення бромкрезолового зеленого. На флотоекстракції бромфенолового синього зосередились у роботі [11] науковці Лу і Жу.

Останніми роками ведуться дослідження флотоекстракції як в Україні [12–14], так і за кордоном. У літературі відсутні систематичні дослідження умов проведення флотоекстракції при очищенні стічних вод від барвників. Такі фактори процесу як кислотність середовища, кількість реагентів, вибір екстрагенту, тривалість перемішування й флотації, визначаються властивостями барвника, і повинні бути вивчені для кожного окремого випадку. Автори практично всіх вищезгаданих робіт, досліджували умови флотоекстракції барвників з водних розчинів малої концентрації для концентрування та аналітичного визначення слідових кількостей. В даній роботі досліджували модельні розчини з концентраціями барвника, які відповідають його вмісту у стічних водах.

3. Мета та задачі дослідження

Метою роботи було дослідження флотоекстракційного видалення барвника бенгальського рожевого (БР) із модельних розчинів, що імітують стічні води. Бенгальський рожевий широко використовується в медицині, особливо в офтальмології, в аналітичній хімії, в ролі адсорбційного індикатора, а також у промисловості для фарбування тканин та скла.

Для реалізації мети були поставлені наступні задачі:

- для барвника бенгальський рожевий підібрати поверхнево-активну речовину катіонного типу та флотоекстрагент;
- експериментально дослідити характер впливу на ступінь вилучення таких параметрів, як рН середовища, мольне співвідношення ПАР:Барвник, розмір пухирців, вихідна концентрація барвника;
- встановити оптимальні умови перебігу процесу.

4. Матеріали та методи дослідження флотоекстракційного видалення бенгальського рожевого

Визначення ефективності видалення барвника вивчали в залежності від: типу органічного розчинника, вихідної концентрації барвника, молярного

співвідношення ПАР:Барвник, рН вихідного розчину. В якості ПАР експериментально було обрано гексадецилтриметиламонію бромід. ПАР разом з барвником утворює гідрофобний комплекс, який взаємодіє з бульбашками газу (азоту) і підіймається до границі розподілу фаз «вода-органічна сполука» і поглинається органічною фазою.

Процес флотоекстракції проводився (рис. 1) у циліндричній скляній колонці 3 діаметром 35 мм, дном якої слугував фільтр Шота 4. Через пористу перегородку подавався газ (азот) під тиском з балону 1. Витрати азоту контролювалися ротаметром 2.

Проба на аналіз відбиралася піпеткою з верхньої частини колонки. Вихідна концентрація барвника 10 мг/дм³. Витрата газу 40 см³/хв. Об'єм модельного розчину 200 см³, об'єм органічної фази 5 см³. Процес флотоекстракції відбувався до встановлення постійної залишкової концентрації барвника, яку визначали фотометричним методом на однопроменевому скануючому спектрофотометрі Portlab 501. Мірою ефективності процесу флотоекстракції слугував показник ступеня вилучення барвника X, %.

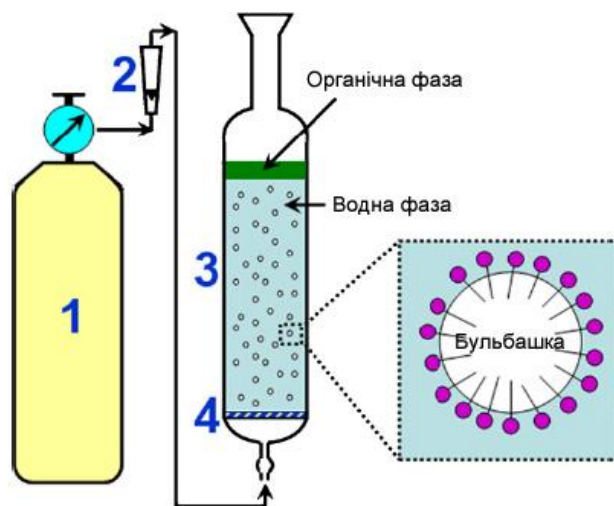


Рис. 1. Схема експериментальної установки

Корегування значення рН проводилося розчинами NaOH з концентрацією 0,1 моль/дм³ та HCl з концентрацією 0,1 моль/дм³ (рН водних розчинів вимірювався за допомогою рН-метра рН-150МИ).

5. Результати досліджень та їх обговорення

Дослідження залежності ступеня видалення барвника від тривалості флотоекстрагування. Досліди проводили в інтервалі від 2 хв. до 25 хв. (рис. 2).

З наведеної залежності видно, що зі збільшенням тривалості процесу від 5 до 20 хв. збільшується ступінь вилучення барвника. При подальшому проведенні процесу ступінь вилучення не зростає, а після 25 хв. ступінь вилучення починає зменшуватись – сублат починає переходити знову у водну фазу.

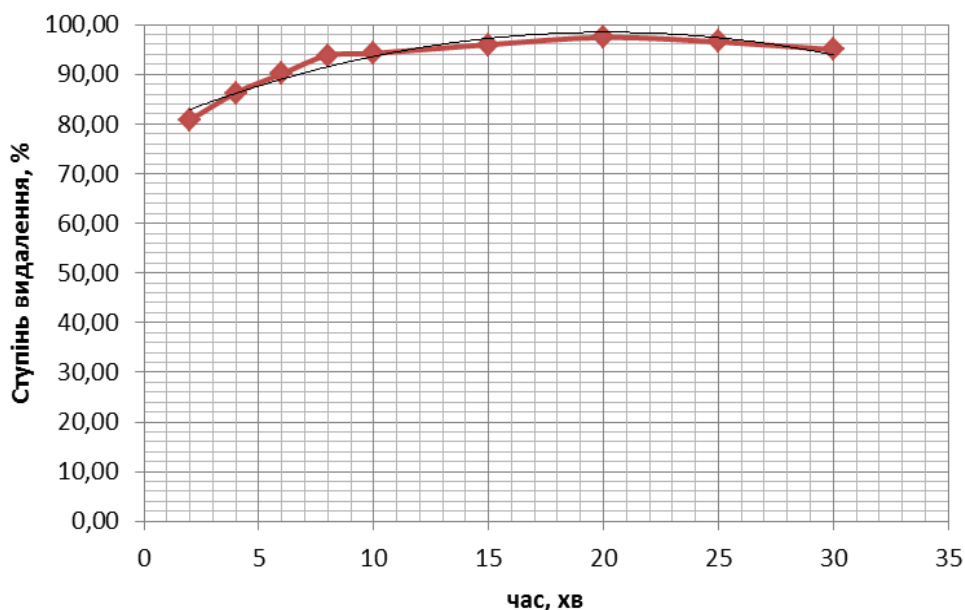


Рис. 2. Залежність ступеня вилучення бенгальського рожевого від тривалості процесу

Вплив органічного екстрагенту на ступінь вилучення барвника. При виборі органічної фази слід враховувати наступні особливості:

- органічна фаза повинна не змішуватися з водою;
- не повинна розчинятися у воді;
- проявляти здатність утримуватися на поверхні води й не утворювати емульсії;
- мати густину в межах 0,75–0,90 г/см³;
- повинна бути нелеткою за кімнатної температури.

В загальному випадку, ефективність процесу тим вище, чим вище розчинність комплексу (Барвник-ПАР) в органічному розчиннику. В даній роботі досліджувалась ефективність флотоекстракції з різними екстрагентами, для виявлення найбільш ефективного для досліджуваного барвника. Отримані експериментальні результати зведені в табл. 1.

Серед полярних органічних розчинників найвищі ступені вилучення досягаються при використанні ізопентанолу і октанолу. Загалом, неполярні екстрагенти не є ефективними для видалення цього барвника (виключенням є тільки гексан), особливо у порівнянні зі спиртами. Серед ефірів ефективним можна вважати етилацетат.

Дослідження залежності ступеня видалення барвника від молярного співвідношення ПАР:Барвник. Метою цієї залежності було визначення оптимального співвідношення (ПАР:Барвник). Згідно рис. 3 більш повне видалення і відповідно менша залишкова концентрація бенгальського рожевого досягається при співвідношенні ПАР: Барвник – 1:1,5.

Вплив вихідної концентрації на ступінь вилучення барвника. При зменшенні вихідної концентрації ступінь вилучення, зазвичай, зменшується, оскільки чим менша кількість забруднювача, тим важче він видаляється.

Результати дослідіу приведені на графіку (рис. 4), якій не має яскраво виражених спадів чи підйомів при збільшенні вихідної концентрації. От-

римані результати знаходяться в межах похибки дослідіу. Тобто вихідна концентрація барвника майже не впливає на перебіг процесу, в досліджених умовах експерименту.

Таблиця 1
Залежність ступеня вилучення БР від органічної фази

Органічна фаза	C _{зал} , мг/дм ³	Ступінь видалення X, %
Бутанол	0,645	77,15
Ізобутанол	0,074	70,38
Пентанол	0,645	67,17
Ізопентанол	0,014	99,29
Гексанол	0,521	73,48
Октанол	0,113	94,25
Ізооктанол	0,555	71,75
Деканол	0,617	68,61
Ундецинол	0,561	71,44
Гексан	0,194	90,11
Гептан	0,567	71,12
Октан	0,569	71,02
Ізооктан	0,485	75,30
Тетрадекан	0,547	94,25
Етилацетат	0,547	72,15
Бутилацетат	0,077	96,09

Вплив значення рН середовища на ступінь вилучення барвника. рН розчину є дуже важливим параметром процесу, оскільки визначає наявність частинок, які беруть участь у флотоекстракції (рис. 5).

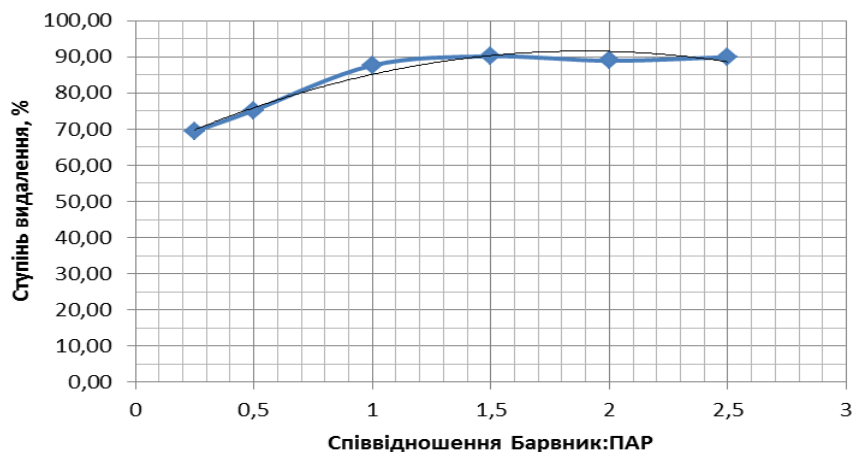


Рис. 3. Залежність ступеня видалення барвника від співвідношення ПАР:Барвник

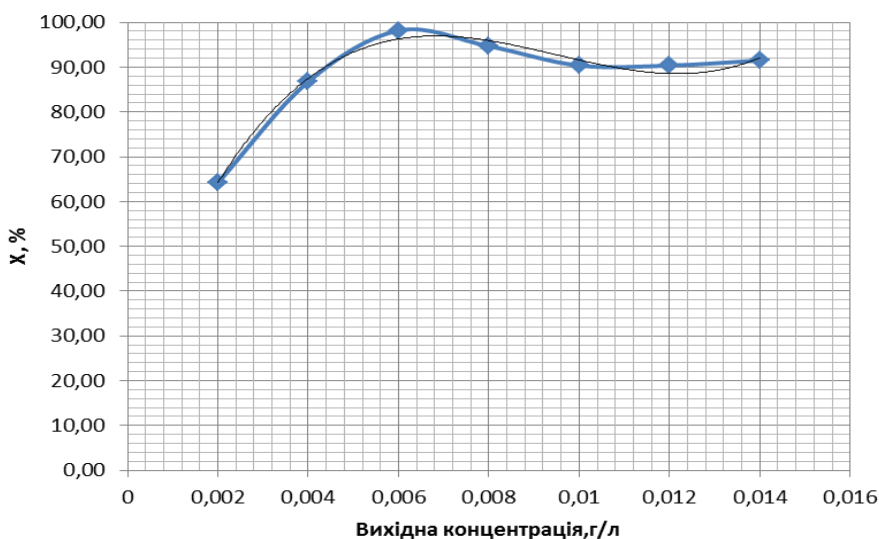


Рис. 4. Вплив вихідної концентрації на ступінь видалення бенгальського рожевого

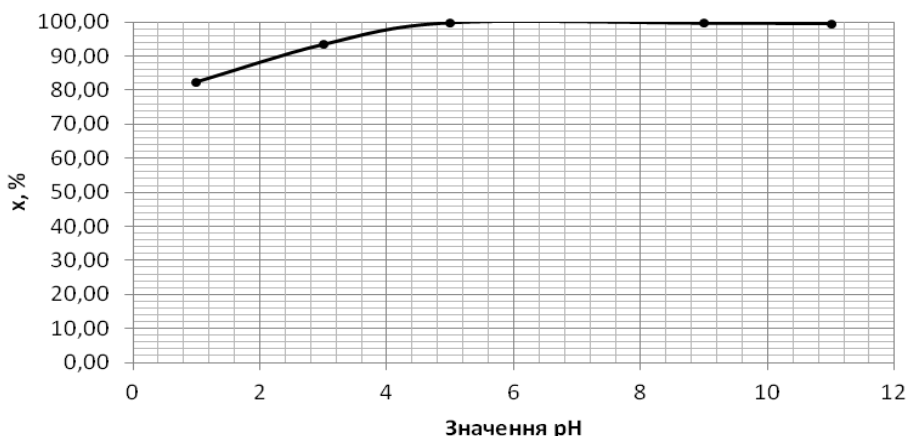


Рис. 5. Вплив значення рН середовища на ступінь видалення бенгальського рожевого

Барвник бенгальський рожевий є кислотнo-лужним індикатором і за різних значень рН середовища переходить у різні форми. Відповідні іонізовані форми барвника утворюють разом з доданими поверхнево активними речовинами різні комплексні сполуки. Ці комплекси неоднаково піддаються флотоекстракційному вилученню.

Як видно з рис. 5, при збільшенні значення рН ступінь видалення барвника збільшується. Але і без

корегування рН ступінь видалення полютанта досить значна і складає 99,8 % при рН 5.

6. Висновки

Таким чином, досліджено закономірності вилучення барвника бенгальського рожевого в інтервалі концентрацій 2–20 мг/дм³ у водних розчинах, який відповідає його вмісту у стічних водах. Встановлено раціональні умови видалення барвника:

pH 6–7, стехіометричне молярне співвідношення (бенгальський рожевий- гексадецилтриметиламонію бромід)=(1:1,5), тривалість процесу 20 хв. За цих умов ступінь видалення БР складає 99,8 %.

Література

1. Нестерова, Л. А. Эффективность использования оборотных систем водопотребления на текстильных предприятиях [Текст] / Л. А. Нестерова, Г. С. Сарибеков // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – Т. 4, № 8 (46). – С. 25–28. – Режим доступа: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/3022>
2. Forgacs, E. Removal of synthetic dyes from wastewaters: a review [Text] / E. Forgacs, T. Cserha, G. Oros // Environment International. – 2004. – Vol. 30, Issue 7. – P. 953–971. doi: 10.1016/j.envint.2004.02.001
3. Гольман, А. М. Ионная флотация [Текст] / А. М. Гольман. – М.: Недра, 1982. – 144 с.
4. Lu, Y. Solvent sublation: theory and application [Text] / Y. Lu, X. Zhu // Separation & Purification Reviews. – 2001. – Vol. 30, Issue 2. – P. 157–189. doi: 10.1081/spm-100108158
5. Bi, P. The recent progress of solvent sublation [Text] / P. Bi, H. Dong, J. Dong // Journal of Chromatography A. – 2010. – Vol. 1217, Issue 16. – P. 2716–2725. doi: 10.1016/j.chroma.2009.11.020
6. Caragay, A. B. Use of rate phenomena in solvent sublation separation of methyl orange and rhodamine B [Text] / A. B. Caragay, B. L. Karger // Analytical Chemistry. – 1966. – Vol. 38, Issue 4. – P. 652–654. doi: 10.1021/ac60236a040
7. Horng, J. Y. Removal of organic dye (direct blue) from synthetic wastewater by adsorptive bubble separation techniques [Text] / J. Y. Horng, S. D. Huang // Environmental Science & Technology. – 1993. – Vol. 27, Issue 6. – P. 1169–1175. doi: 10.1021/es00043a017
8. Lu, Y. The removal of bromophenol blue from water by solvent sublation [Text] / Y. Lu, Y. Wang, X. Zhu // Separation Science and Technology. – 2001. – Vol. 36, Issue 16. – P. 3763–3776. doi: 10.1081/ss-100108361
9. Lu, Y. The removal of methyl violet from water by solvent sublation [Text] / Y. Lu, X. Zhu, Y. Peng // Separation Science and Technology. – 2003. – Vol. 38, Issue 6. – P. 1385–1398. doi: 10.1081/ss-120018815
10. Lu, Y. Studies on the removal of bromocresol green from water by solvent sublation [Text] / Y. Lu, B. Wei, Y. Wang, J. Li // Separation Science and Technology. – 2007. – Vol. 42, Issue 8. – P. 1901–1911. doi: 10.1080/01496390601174398
11. Lu, Y. The kinetics and thermodynamics of surfactants in solvent sublation [Text] / Y. Lu, Y. Wang, Y. Xiong, H. Zhu // Fresenius' Journal of Analytical Chemistry. – 2001. – Vol. 370, Issue 8. – P. 1071–1076. doi: 10.1007/s002160100914
12. Обушенко, Т. И. Очистка сточных вод от токсических металлов флотоэкстракцией [Текст] / Т. И. Обушенко, И. М. Астрелин, Н. М. Толстопалова, М. А. Варбанец, Т. А. Кондратенко // Химия и технология воды. – 2008. – Т. 30, № 4. – С. 429–436.
13. Bi, P. Critical bubble radius in solvent sublation [Text] / P. Bi, H. Dong, N. Wang // Chinese Chemical Letters. –

2007. – Vol. 18, Issue 10. – P. 1293–1296. doi: 10.1016/j.ccl.2007.08.009

14. Астрелин, І. М. Теоретичні засади та практичне застосування флотоекстракції: огляд [Текст] / І. М. Астрелин, Т. І. Обушенко, Н. М. Толстопалова, О. О. Таргонська // Вода і водоочисні технології. – 2013. – № 3. – С. 3–23.

References

1. Nesterova, L. A., Saribekov, G. S. (2010). Efficiency of use of turnaround systems of water consumption at the textile enterprises. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4/8 (46), 25–28. Available at: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/3022>
2. Forgacs, E., Cserháti, T., Oros, G. (2004). Removal of synthetic dyes from wastewaters: a review. Environment International, 30 (7), 953–971. doi: 10.1016/j.envint.2004.02.001
3. Golman, A. M. (1982). Ionnyaya flotatsiya. Moscow: Nedra, 144.
4. Lu, Y., Zhu, X. (2001). Solvent sublation: theory and application. Separation & Purification Reviews, 30 (2), 157–189. doi: 10.1081/spm-100108158
5. Bi, P., Dong, H., Dong, J. (2010). The recent progress of solvent sublation. Journal of Chromatography A, 1217 (16), 2716–2725. doi: 10.1016/j.chroma.2009.11.020
6. Caragay, A. B., Karger, B. L. (1966). Use of Rate Phenomena in Solvent Sublation. Separation of Methyl Orange and Rhodamine B. Analytical Chemistry, 38 (4), 652–654. doi: 10.1021/ac60236a040
7. Horng, J. Y., Huang, S. D. (1993). Removal of organic dye (direct blue) from synthetic wastewater by adsorptive bubble separation techniques. Environmental Science & Technology, 27 (6), 1169–1175. doi: 10.1021/es00043a017
8. Lu, Y., Wang, Y., Zhu, X. (2001). The removal of bromophenol blue from water by solvent sublation. Separation Science and Technology, 36 (16), 3763–3776. doi: 10.1081/ss-100108361
9. Lu, Y., Zhu, X., Peng, Y. (2003). The Removal of Methyl Violet from Water by Solvent Sublation. Separation Science and Technology, 38 (6), 1385–1398. doi: 10.1081/ss-120018815
10. Lu, Y., Wei, B., Wang, Y., Li, J. (2007). Studies on the Removal of Bromocresol Green from Water by Solvent Sublation. Separation Science and Technology, 42 (8), 1901–1911. doi: 10.1080/01496390601174398
11. Lu, Y., Wang, Y., Xiong, Y., Zhu, X. (2001). The kinetics and thermodynamics of surfactants in solvent sublation. Fresenius' Journal of Analytical Chemistry, 370 (8), 1071–1076. doi: 10.1007/s002160100914
12. Obushenko, T. I., Astrelin, I. M., Tolstopalova, N. M., Varbanets, M. A., Kondratenko, T. A. (2008). Wastewater Treatment from Toxic Metals by Flotoextraction. Journal of Water Chemistry and Technology, 30 (4), 241–245.
13. Bi, P. Y., Dong, H. R., Wang, N. N. (2007). Critical bubble radius in solvent sublation. Chinese Chemical Letters, 18 (10), 1293–1296. doi: 10.1016/j.ccl.2007.08.009
14. Astrelin, I. M., Obushenko, T. I., Tolstopalova, N. M., Targonska, O. O. (2013). Theoretical principles and application of solvent sublation: a review. Voda i vodochysni tehnologii, 3, 3–23.

Дата надходження рукопису 19.04.2016

Обушенко Тетяна Іванівна, старший викладач, кафедра технології неорганічних речовин та загальної хімічної технології, Національний технічний університет України «Київський політехнічний Інститут», пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056
E-mail: tio63@mail.ru

Толстопалова Наталія Михайлівна, кандидат технічних наук, доцент, Кафедра технології неорганічних речовин та загальної хімічної технології, Національний технічний університет України «Київський політехнічний Інститут», пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056
E-mail: tio63@mail.ru

Астрелін Ігор Михайлович, доктор технічних наук, професор, кафедра технології неорганічних речовин та загальної хімічної технології, Національний технічний університет України «Київський політехнічний Інститут», пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056
E-mail: sec@xtf.kpi.ua

УДК 004.942

DOI: 10.15587/2313-8416.2016.69069

ВІРТУАЛЬНІ МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ В ІНФОРМАЦІЙНОМУ ПРОСТОРИ

© А. О. Становський, А. В. Торопенко, Г. В. Налева, С. В. Кошулян, Х. Валід, Т. М. Панова

Розглянуті питання використання віртуальної математичної моделі в інформаційному просторі для розпізнавання стану бездротової комп'ютерної мережі у вигляді тривимірного зорового образу (відео-поток) змінної матричної математичної моделі. Розроблено метод отримання кінцевого (розпізнаного) стану змінної за часом структури частково недоступної пошкодженої бездротової комп'ютерної мережі

Ключові слова: бездротова комп'ютерна мережа, розпізнавання стану структури, віртуальна математична модель

Problems of use of virtual mathematical model in information space for recognition of a condition of a wireless computer network in the form of a three-dimensional vision (video stream) of variable matrix mathematical model are considered. The method of receiving the final (recognizable) condition of a variable on time of structure of partially inaccessible damaged wireless computer network is developed

Keywords: wireless computer network, recognition of a condition of structure, virtual mathematical model

1. Вступ

Останнім часом все більшого поширення набувають бездротові комп'ютерні мережі (БКМ) спеціального призначення – пошкоджені БКМ (ПБКМ), які, на відміну від відомих, працюють в небезпечних умовах планування та управління бойовими діями, наражаючись при цьому на постійну небезпеку фізичного знищення окремих її елементів та ефірного пригнічення зв'язків між ними. Широке використання таких мереж підвищує вимоги до їхньої надійності, відмовостійкості та продуктивності. Остання, в свою чергу, забезпечується постійним запобіганням утворенню явних і схованих вузьких місць і пошкоджень, що призводять до структурної неможливості окремих елементів та зв'язків. При цьому істотним є час, затрачуваний на розпізнавання поточного стану пошкодженої мережі, з одного боку, і на відновлення її працездатності за рахунок, наприклад, «гарячого» резервування, – з іншого. Швидкість роботи систем розпізнавання та відновлення повинна забезпечувати онлайн підтримку боеготовності систем, обладнаних такими ПБКМ.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Після перетворення доступної інформації, маємо реальний, але не до кінця відомий об'єкт – част-

ково недоступну для спостереження пошкоджену БКМ – та отримуємо його віртуальну, але в деякому сенсі відому модель $\mathbf{H}(t_{\text{пор}})$ [1, 2]. Зауважимо, що прийнятий термін «віртуальний об'єкт» [3, 4] не зовсім коректний, оскільки сам об'єкт не може бути віртуальним, – він такий, «який він є», а віртуальною може бути лише модель цього об'єкта або деяка інтерпретація об'єкта «який би він міг бути, якщо б...».

Дійсно, як випливає з визначення, віртуальний (лат. *virtualis* – можливий) – об'єкт, який реально не існує, але може виникнути при певних умовах [5]. В англійській мові слово *virtual* з появою обчислювальної техніки набуло додатковий відтінок: «він (об'єкт) не існує в дійсності, але з'являється завдяки програмному забезпеченню» [6], що теж є ознакою моделі, а не самого об'єкта.

Філософія абстрагує ідею віртуальної реальності від її технічного втілення. Віртуальну реальність тлумачать як сукупність моделюємих реальними процесами об'єктів [7, 8], зміст і форма яких не збігається із цими процесами. Існування моделюємих об'єктів порівнюється з реальністю, але розглядається обособлено від неї – віртуальні об'єкти існують, але не як субстанції реального миру.

У той же час ці об'єкти актуальні, а не потенційні. «Віртуальність» реальності встановлюється стосовно «основної» реальності, яка її обумовлює.