

УДК 536.423+532.528

Ю.О. ШУРЧКОВА, І. О. ДУБОВКІНА

ВИКОРИСТАННЯ ВИСОКОЧАСТОТНИХ ГІДРОДИНАМІЧНИХ КОЛИВАНЬ ДЛЯ ОДЕРЖАННЯ ВОДНО-ЕТАНОЛЬНИХ СУМІШЕЙ

Проведений аналіз процесів, що мають місце в бінарних системах вода-етанол: гідратації, асоціації. Представлено дослідження властивостей водних систем оброблених методом дискретно-імпульсного введення енергії. Наведено результати експериментальних досліджень впливу височастотних гідродинамічних коливань на фізико-хімічні параметри водних систем. Встановлено зниження вмісту розчиненого кисню у водно-етанольних сумішах. Сформульовано висновки, які мають практичну цінність для проведення подальших наукових досліджень у даному напрямку та розроблення рекомендацій для промислового виробництва.

Ключові слова: водно-етанольні суміші, дискретно-імпульсне введення енергії, знекиснення, височастотні гідродинамічні коливання.

Вступ. На сьогоднішній день існує ряд чинників, вплив яких ускладнює одержання готової продукції зі стабільно високими якісними показниками. Зазвичай, якість визначається фізико-хімічними показниками вихідних компонентів та способом одержання продукту. Виробництво сумішей, досить складна технологічна операція і, як правило, пов'язана із процесами змішування.

При здійсненні процесів, пов'язаних із необхідністю рівномірного змішування та розподілу різних фаз у рідкій основі істотного значення набуває можливість прогнозування реакції таких систем залежно від різного роду зовнішніх періодичних або енергетичних впливів.

Як показали раніше виконані дослідження динамічних явищ у багатофазних середовищах, що піддавались фізичним та електрофізичним методам обробки [1], а саме, керованим вібраційним енергетичним впливам, багато з них можуть бути успішно використані як для інтенсифікації масообмінних процесів, так і при розробці та реалізації принципово нових технологічних прийомів, а саме, оброблення водних систем, зміни їх властивостей, біологічної активації [2].

Постановка проблеми. Основною задачею сучасних технологій одержання водно-етанольних сумішей передбачено застосування інноваційних енергозберігаючих та екологічних методів, що забезпечують покращення якісних показників готової продукції.

Метод дискретно-імпульсного введення енергії (ДІВЕ) може стати одним із засобів вирішення цієї задачі. Сутність методу полягає в тому, щоб попередньо стаціонарно введена та довільним чином розподілена в робочому об'ємі енергію акумулювати в локально роз'єднаних дискретних точках системи і в подальшому імпульсно реалізувати для досягнення необхідних фізичних ефектів: нагнітання та скидання тиску, адіабатного закипання, гідравлічного удару, ударних хвиль тиску або розрідження, напружень зсуву, локальної турбулентності, кавітації [3].

Ці фізичні ефекти сприяють інтенсифікації багатьох фізико-хімічних перетворень, активізують окислювально-відновлювальні процеси, процеси іонізації [4]. Розщеплення молекул води та виникнення радикалів H^+ та OH^- впливає на основні властивості водних систем та розчинів – їх густину, стисливість, коефіцієнт дифузії, електро- та теплопровідність, розчинну здатність та інші характеристики, такі як утворення клатратів та різних комплексів, швидкість гідратації, структуроутворення, виникнення розвиненої сітки водневих зв'язків [5].

Водні системи здатні утворювати тривимірну

неперервну сітку водневих зв'язків рис. 1 між окремими молекулами, що постійно змінюється, рекомбінується та відновлюється [6], завдяки цьому вода і має аномальні властивості.

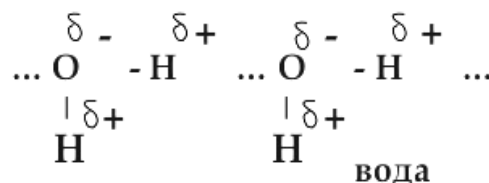


Рис. 1 – Механізм утворення водневих зв'язків у воді

Вперше гідратну теорію розчинів розробив Д. І. Менделєєв [7], в подальшому вона стала основою вивчення їх природи. За цією теорією розчини являють собою змінні дисоціюючі хімічні сполуки розчиненої речовини і розчинника, що мають назву сольватів, а у випадку водних розчинів – гідратів. Водно-етанольні суміші являють собою асоціати та гідрати змішаного типу рис. 2.

Форми, які можуть утворювати асоціати дуже різноманітні: лінійні ланцюгові, об'ємні багатогранники, кільцеві та обумовлені не лише молекулами води, етанолу, домішок (альдегідів, сивушних масел, естерів), вільних радикалів, що містяться у водно-етанольних системах, а також умовами проведення процесу їх змішування.

Складність будови водно-етанольних сумішей підтверджується також термодинамічними властивостями: зміною вільної енергії утворення суміші, виникненням екстремумів на кривих парціальних об'ємів і парціальних ентальпій та ентропії етанолу залежно від його концентрації.

Вивчення та дослідження нових закономірностей зміни властивостей водних систем дає можливість вибрати найбільш ефективні методи та технології управління зміною фізико-хімічних параметрів на молекулярному рівні.

Вода є базовим компонентом будь-якої водної системи. Основну масу природної води – майже 99 % складає протієва вода - $\text{H}^1_2\text{O}^{16}$. Важкокисневих вод набагато менше: $\text{H}^1_2\text{O}^{18}$ – десятки долі відсотка. Ізотопу $\text{H}^1_2\text{O}^{17}$ – соті долі відсотка від загальної кількості природних вод. Лише мільйонні долі відсотка складає важка вода D_2O . В природних водах міститься значна кількість важкої води, але в формі $\text{H}^1\text{D}_2\text{O}^{16}$. В природі найбільш розповсюджені 9 стійких ізотопів води (табл. 1).

© Ю.О. Шурчкова, І. О. Дубовкіна. 2015

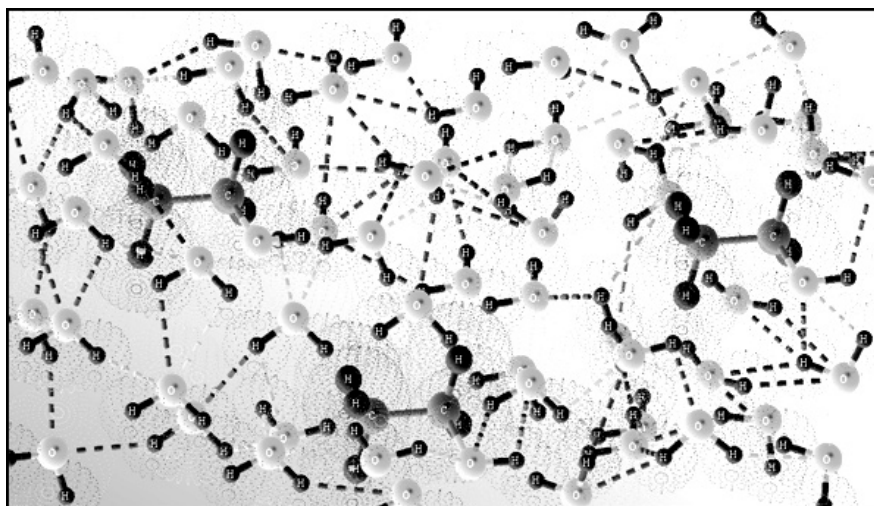


Рис. 2 – Асоціати в бінарній системі вода-етанол із утворенням водневих зв'язків: фрагмент системи в якій кількість молекул відповідає: молярній концентрації 7 моль/літр; масовій концентрації 52 %; об'ємній концентрації 40 % об. (візуалізацію виконано в прикладному пакеті HyperChem)

Таблиця 1 – Ізотопи води

$\text{H}^1_2\text{O}^{16}$	$\text{H}^1\text{D}^2\text{O}^{16}$	$\text{D}^2_2\text{O}^{16}$
$\text{H}^1_2\text{O}^{17}$	$\text{H}^1\text{D}^2\text{O}^{17}$	$\text{D}^2_2\text{O}^{17}$
$\text{H}^1_2\text{O}^{18}$	$\text{H}^1\text{D}^2\text{O}^{18}$	$\text{D}^2_2\text{O}^{18}$

Рідше, ніж D_2O , зустрічаються і дев'ять радіоактивних природних ізотопів води, що містить тритій (табл. 2):

Таблиця 2 – Ізотопи води, що містять тритій

$\text{T}^3_2\text{O}^{16}$	T^3O^{16}	$\text{D}^2\text{T}^3\text{O}^{16}$
$\text{T}^3_2\text{O}^{17}$	$\text{H}^1\text{T}^3\text{O}^{17}$	$\text{D}^2\text{T}^3\text{O}^{17}$
$\text{T}^3_2\text{O}^{18}$	$\text{H}^1\text{T}^3\text{O}^{18}$	$\text{D}^2\text{T}^3\text{O}^{18}$

Під класичною водою потрібно розуміти протієву воду $\text{H}^1_2\text{O}^{16}$ в чистому вигляді, тобто, без будь-яких інших ізотопів. Але, нажаль, в чистому вигляді $\text{H}^1_2\text{O}^{16}$ майже не зустрічається, тому воду вважають як суміш ізотопів води складу $\text{H}^1_2\text{O}^{16}$, $\text{H}^1_2\text{O}^{17}$ і $\text{H}^1_2\text{O}^{18}$.

Підсумовуючи вищевикладене, можна зробити висновки, що вода є досить складною багатокомпонентною системою.

На сьогоднішній момент зібрана велика кількість експериментального матеріалу, що відображає важливість явища гідратації для розуміння природи рідкого стану речовини, розчинів та утворення сумішей, окрім того, існує велика кількість моделей які описують структуру води та допомагають прогнозувати її фізико-хімічні параметри.

Процеси розподілу та перерозподілу води в сумішах і розчинах дуже складні й безупинно змінюються при зміні концентрації, температури та інших факторів.

Ажурність одної структури припускає можливість здійснення декількох типів розчинення залежно від властивостей молекул розчиненої речовини. Найбільш загальний випадок представляє собою розчинення молекул, в яких утримуються полярна та неполярна група. До таких речовин належать спирти, наприклад етанол.

Таким чином, актуальним науковим завданням є вивчення впливу високочастотних гідродинамічних

коливань на фізико-хімічні параметри водно-етанольних сумішей, а також процеси змішування етанолу з водою і водними системами.

Ґрунтуючись на даних огляду літератури виявлено, що проблеми процесу змішування мають багато важливих невирішених питань, встановлено, що перспективним напрямом досліджень є використання високочастотних гідродинамічних коливань.

Мета роботи. Метою роботи є дослідження впливу методу дискретно-імпульсного введення енергії, а саме впливу високочастотних гідродинамічних коливань на фізико-хімічні параметри водно-етанольних сумішей.

Методика проведення експериментальних досліджень, технічні характеристики обладнання та результати проведених досліджень. Основні технологічні та технічні особливості при використанні високочастотних гідродинамічних коливань в технології одержання водно-етанольних сумішей полягають у наступному:

- воду, перед застосуванням в технологічному процесі одержання водно-етанольних сумішей переводять у метастабільний стан шляхом її активації, що характеризується аномальними значеннями активності електронів та інших фізико-хімічних параметрів піддаючи її обробленню високочастотними гідродинамічними коливаннями (піддають впливу фізичних ефектів: нагнітання та скидання тиску, адіабатного закипання, гідравлічного удару, ударних хвиль тиску або розрідження, напружень зсуву, локальної турбулентності, кавітації);

- процес змішування води з етанолом проводять безпосередньо в умовах високочастотних гідродинамічних коливань, це досягається шляхом введення окремих потоків води та етанолу в робочу зону обладнання.

Для проведення досліджень було використано обладнання, в якому реалізуються високочастотні гідродинамічні коливання, а саме роторно-пульсаційний апарат, який був розроблений в Інституті технічної теплофізики НАН України. Технологічні параметри обладнання наведені у табл. 3.

Таблиця 3 – Технологічні параметри експериментального роторно-пульсаційного апарату

Технологічні параметри	Швидкість зсуву потоку	Напруження зсуву потоку	Кількість коливань, що проходиться на елементарний об'єм при проходженні через робочий орган	Час перебування елементарного об'єму в робочій зоні апарата
Розмірність	с^{-1}	Па	n	c
Значення	$2,4 \cdot 10^5$	244	168-215	$73 \cdot 10^{-3}$

Для реалізації досліджень було використано багатофакторний експеримент, на підставі попередніх досліджень були визначені інтервали варіювання факторів [8].

Розчинений кисень знаходиться у водних системах у вигляді молекул O_2 . Концентрація розчиненого у водних системах кисню є інтегральною величиною, що визначається співвідношенням різноспрямованих фізико-хімічних, гідродинамічних процесів, які відбуваються у водних системах та на межі розділення фаз «водна система-атмосфера».

Основним джерелом надходження кисню у водні системи є атмосфера, де він міститься в значній кількості. Абсорбція кисню з атмосфери відбувається на поверхні водних систем. Швидкість цього процесу підвищується зі зниженням температури, із підвищенням тиску і зниженням мінералізації. Кількісний вміст кисню у розчині визначається його парціальним тиском у повітрі та описується законом Генрі.

Кількість розчиненого кисню впливає на швидкість окисно-відновних реакцій. Чим менша кількість розчиненого кисню в водно-етанольних сумішах, тим триваліший їх час зберігання. Кількість кисню впливає на вміст та утворення шкідливих домішок.

Під час проведення експериментальних досліджень із застосуванням оброблення високочастотними гідродинамічними коливаннями водно-етанольних бінарних систем було встановлено, що має місце зниження вмісту розчиненого кисню (рис. 3).

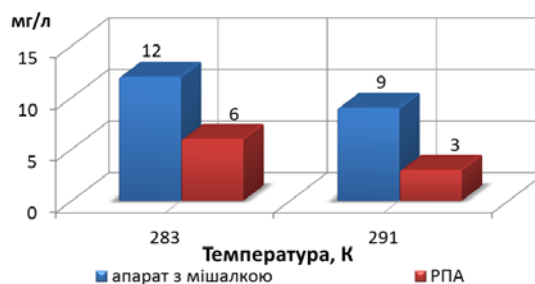


Рис. 3 – Вміст розчиненого кисню у водно-спиртових сумішах залежно від способу одержання

В результаті проведених досліджень було встановлено, що внаслідок дії інтенсивних напружень зсуву в системах вода-етанол відбувається інтенсивне знекиснювання в умовах застосування високочастотних гідродинамічних коливань – на 50 %, за температури 10°C (283K), та – на 66 %, за температури 18°C (291K). При цьому відбувається зниження вмісту шкідливих домішок альдегідів та сивушних масел шляхом унеможливлення окислення молекул етанолу до оцтового альдегіду та зниження реакційної здатності вільних радикалів.

Результати досліджень водно-спиртових сумішей на наявність шкідливих домішок отриманих за традиційною технологією та в умовах високочастотних гідродинамічних коливань наведені у табл. 4.

Таблиця 4 – Вміст домішок у водно-етанольних сумішах 40 % об.

No п/п	Компонент	Промисловий спосіб (змішування в апараті з мішалкою)	Із застосуванням високочастотних гідродинамічних коливань
		мг/дм.куб	
1	Ацетальдегід	1,4622	1,0668
2	Метанол	0,0014	0,0014
3	2-пропанол	0,5483	0,5400
4	1-пропанол	0,1271	0,1222
5	1-бутанол	0,1564	0,1443
6	2-бутанол	0,1169	0,0981

При проведенні порівняльного аналізу результатів досліджень було встановлено, що вміст шкідливих домішок у водно-етанольних сумішах одержаних промисловим способом, в апараті з мішалкою, перевищує вміст домішок, у сумішах одержаних пропонованим способом. Відповідно до цього, можна зробити висновок, що суміші мають покращені фізико-хімічні параметри [9,10].

Узагальнення результатів цих досліджень доводить доцільність використання високочастотних гідродинамічних коливань для проведення процесу змішування води та етанолу дозволить визначити раціональні технологічні умови проведення процесу одержання водно-етанольних сумішей.

Висновки. Визначена актуальність безперервної технології одержання водно-етанольних сумішей

із застосуванням високочастотних гідродинамічних коливань та оброблення водних систем методом дискретно-імпульсного введення енергії. Показані проблеми утворення шкідливих домішок при змішуванні води та етанолу, пов'язані зі складністю одержання етанолу заданої якості. Наведені результати досліджень параметрів водно-етанольних сумішей та підтверджено покращення фізико-хімічних параметрів одержаних сумішей. За результатами дослідження запропоновано енергозберігаючу технологію одержання водно-етанольних сумішей, що може бути застосована в різних галузях промисловості: харчовій, фармацевтичній, косметичній, для одержання водно-етанольних сумішей та продуктів на їх основі покращеної якості.

Планується в подальшому провести дослідження

впливу високочастотних гідродинамічних коливань на фізико-хімічні параметри для інших аліфатичних спиртів, з метою розширення областей застосування технології.

Список літератури: 1. Rogov, I. A. Электрофизические методы обработки пищевых продуктов [Текст] / И. А. Рогов. – М.: Агропромиздат, 1988. – 272 с. 2. Food processing operations modeling. Design and analysis [Text] / [second edition] : edited by Soojin Jun, Joseph M. Irudayaraj. – London, New York : CRC Press is an imprint of the Taylor & Francis Group, an informa business, 2009. – 340 p. 3. Долінский, А. А. Наномасштабные эффекты при дискретно-импульсной трансформации энергии [Текст] / А. А. Долінский, Б. И. Басок // ИФЖ. – 2005 – Т.78, No 1. – С. 15–23. 4. Дубовкина, И. А. Моделирование процессов гидратации и структурирования этанола в условиях обработки ДИВЭ [Текст] / И. А. Дубовкина // "Восточно-Европейский журнал передовых технологий". – 2012. – No 6/6 (60). – С. 50–51. 5. Marcin, R. Influence of ions on molecular vibrations and hydrogen bonds in methanol–water mixtures: MD simulation study [Text] / Marcin Rybicki, Ewa Hawlicka // Original Research Article Journal of Molecular Liquids. – 2014. – Vol. 196. – P. 300–307. 6. Yves, Marechal. The Hydrogen Bond and the Water Molecule: The Physics and Chemistry of Water, Aqueous and Bio-Media [Text] / Marechal Yves // Elsevier Science & Technology, 2006. – 332 p. 7. Менделеев, Д. И. Растворы [Текст] / Д. И. Менделеев // Москва: Издательство Академии Наук СССР, 1959. – С. 256–274. 8. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий [Текст] / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 280 с. 9. Техно-

логічний регламент на виробництво горілок і лікєро-горілочаних напоїв [Текст]: ТР У 18.5084-96. - К.: УкрНДспиртбіопрод, 1996. – 330 с. 10. Водка: технология, качество, инновации: монография [Текст] / О. В. Кузьмин [и др.]. – Донецк: ДонНУЭТ, 2011. – 307 с.

Bibliography (transliterated): 1. Rogov, I. A. (1988). Elektrofizicheskie metody obrabotki pishhevyykh produktov. Moscow : Agropromizdat, 272. 2. Food processing operations modeling. (2009). Design and analysis: edited by Soojin Jun, Joseph M. Irudayaraj. London, New York : CRC Press is an imprint of the Taylor & Francis Group, an informa business, 340. 3. Dolinskiy, A. A., Basok, B. I. (2005). Nanomasshtabnye efekty pri diskretno-impulsnoy transformacii energii. IFZh, T. 78, No 1, 15–23. 4. Dubovkina, I. A. (2012). Modelirovaniye processov gidratatsii i strukturirovaniya etanola v usloviyax obrabotki DIVE. "Eastern-European Journal of Eenterprise Technologies", No 6/6 (60), 50–51. 5. Marcin, Rybicki, Ewa, Hawlicka (2014). Influence of ions on molecular vibrations and hydrogen bonds in methanol–water mixtures: MD simulation study. Original Research Article Journal of Molecular Liquids, Vol. 196, 300–307. 6. Yves, Marechal. (2006). The Hydrogen Bond and the Water Molecule: The Physics and Chemistry of Water, Aqueous and Bio-Media. Elsevier Science & Technology, 332. 7. Mendeleev, D. I. (1959). Rastvory. Moskva: Izdatelstvo Akademii Nauk SSSR, 256–274. 8. Adler, Yu. P., Markova, E. V., Granovskiy, Yu. V. (1976). Planirovaniye eksperimenta pri poiske optimalnykh usloviy. Moskva: Nauka, 280. 9. Technologichnij reglament na virobniцtvo gorilok i likero-gorilchanix napoiv: TR U 18.5084-96. Kiev: UkrNDIspirtbioprod, 1996, 330. 10. Kuzmin, O. V. [i dr.]. (2011). Vodka: tehnologiya, kachestvo, innovacii: monografiya. Doneck: DonNUET, 307.

Надійшла (received) 15.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Шурчкова Юлія Олександрівна – доктор технічних наук, професор, головний науковий співробітник відділу тепломасообміну в дисперсних системах, Інститут технічної теплофізики НАН України; вул. Булаховського, 2а, м. Київ, Україна, 03164; тел.: (044) 424 14 96; e-mail: itf_tds@ukr.net.

Шурчкова Юлія Александровна – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник отдела тепломассообмена в дисперсных системах, Институт технической теплофизики НАН Украины; ул. Булаховского, 2а, г. Киев, Украина, 03164; тел.: (044) 424 14 96; e-mail: itf_tds@ukr.net.

Shurchkova Juliya – Professor, Doctor of technical sciences, Chief Researcher, The department of heat and mass exchange in disperse systems, Institute of Engineering Thermophysics NAS of Ukraine; st. Bulakhovskogo 2a, Kyiv, Ukraine, 03164; e-mail: itf_tds@ukr.net.

Дубовкіна Ірина Олександрівна – кандидат технічних наук, с.н.с., старший науковий співробітник відділу тепломасообміну в дисперсних системах, Інститут технічної теплофізики НАН України; вул. Булаховського, 2а, м. Київ, Україна, 03164; тел.: 097-674-36-72; e-mail: idubovkina@yandex.ru.

Дубовкіна Ірина Александровна – кандидат технических наук, с.н.с., старший научный сотрудник отдела тепломассообмена в дисперсных системах, Институт технической теплофизики НАН Украины; ул. Булаховского, 2а, г. Киев, Украина, 03164; e-mail: idubovkina@yandex.ru.

Dubovkina Irina – Associate professor, Candidate of technical science, Principal research scientist The department of heat and mass exchange in disperse systems, Institute of Engineering Thermophysics NAS of Ukraine; st. Bulakhovskogo 2a, Kyiv, Ukraine, 03164; e-mail: idubovkina@yandex.ru.

УДК 621.793.7

О. КАНАЛЕС, А. А. ЛИТВИНОВ, А. О. ВОЛКОВ, С. Е. МАРКОВИЧ, А. И. ДОЛМАТОВ

АДИАБАТИЧЕСКАЯ ГАЗОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ СПЕЦИФИЧЕСКОЙ ГЕОМЕТРИИ СОПЛА ХОЛОДНОГО НАПЫЛЕНИЯ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

Изучение газодинамических характеристик процесса, как правило, проводится через адиабатические газодинамические модели и гидродинамические вычисления. В данной работе, представлена инновационная адиабатическая газодинамическая модель для расчета энергетических параметров потока в сопле при использовании метода холодного напыления низкого давления. Адиабатическая газодинамическая модель, представленная в этой работе, предназначена для изучения неправильной геометрии сопла. Результаты параметров потока газа через сопло используются для расчета скорости частиц и температуры коммерчески доступных порошкообразных материалов.

Ключевые слова: газодинамическая модель, число Маха, процесс холодного напыления, геометрия сопла.

© О. Каналес, А. А. Литвинов, А. О. Волков, С. Е. Маркович, А. И. Долматов. 2015