

## ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

УДК 536.423+532.528

Ю. О. ШУРЧКОВА, І. О. ДУБОВКІНА

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВОДНО-СПИРТОВИХ СУМІШЕЙ ОТРИМАНИХ В УМОВАХ ЗНАКОЗМІННИХ ІМПУЛЬСІВ ТИСКУ

Проведено дослідження фізико-хімічних параметрів, а саме кількості шкідливих домішок: 1-пропанолу, 2-пропанолу, ацетальдегіду, метанолу, у водно-спиртових сумішах, які були одержані в умовах знакозмінних імпульсів тиску із застосуванням роторно-пульсаційного апарату, в якому реалізована основна концепція дискретно-імпульсного введення енергії. Визначені основні фактори, а саме: час оброблення, температура вихідних компонентів, напруження зсуву потоку, швидкості зсуву потоку, високочастотні осциляції та коливання, які впливають на кількість шкідливих домішок.

**Ключові слова:** водно-спиртові суміші, процес гідратації, роторно-пульсаційний апарат, дискретно-імпульсне введення енергії, знакозмінні імпульси тиску

**Вступ.** Необхідність дослідження структурної організації води та водних систем обумовлена їх унікальними властивостями, а також важливим значенням для оточуючого світу: живої і неживої природи, наукового світу, сучасних технологічних схем промислових виробництв.

Водно-спиртові суміші набули широкого розповсюдження в різних галузях промисловості: харчовій, хімічній, фармакологічній, косметичній та ін. Водні системи, а саме бінарні водно-спиртові, є досить складними об'єктами для досліджень, оскільки належать до відкритих систем, та можуть обмінюватись з оточуючим середовищем не лише енергією, але і речовиною. Водночас це метастабільні системи, що мають певну структурну організацію, властивості яких залежать від багатьох факторів, що є не досить вивченими.

**Постановка проблеми.** Водно-спиртові суміші являють собою складні системи, що складаються з молекул етанолу та води, а також асоціатів (гідратів) різного типу [1], які поєднані між собою тривимірною сіткою водневих зв'язків. Етиловий спирт, винний спирт або етанол (за Міжнародною класифікацією) вперше був синтезований в 1855 р. Загальна формула  $C_2H_5OH$ , а структурна формула рис. 1 [2]:

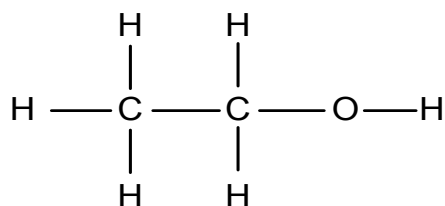


Рис. 1 – Структурна схема етанолу

Вода це асоційована рідина. Асоціація обумовлена наявністю водневих зв'язків, що виникають між молекулами. У чистій воді водневі зв'язки досить сильні, і утворюють безперервну тривимірну сітку, що постійно оновлюється [3].

Оскільки вода амфоліт, то для неї характерна реакція автопротолізу – переносу протону  $H^+$  від однієї молекули до іншої з утворенням комплексів:  $H_3O^+$ ,  $H_5O_2^+$ , та ін.:  $H_2O + H_2O = H_3O^+ + OH^-$ .

Концентраційні залежності властивостей водних сумішей аліфатичних спиртів дозволяють виділити в них три області структур: вода, змішані водно-спиртові суміші (гідрати) та власне спирт. Подвійні системи  $H_2O$  – спирт належать до систем Тиммерманса. Це означає, що вони гомогенні в широкому інтервалі температур і концентрацій. Однак при введенні третього компонента варто очікувати зменшення взаємної розчинності компонентів системи вода – спирт [4]. Змішування спирту з водою супроводжується виділенням тепла та контракцією (адиабатичним стисканням) суміші, причиною цього є утворення асоціативних зв'язків, що приводить до ущільнення молекул і зменшення сумарного об'єму.

Сутність процесу змішування води і спирту полягає передачі протона від спирту до води з утворенням іона гідроксонію та етілату  $C_2H_5OH$ :  $C_2H_5OH + H_2O = H_3O^+ + C_2H_5OH^-$ .

Визначальними процесами, що відбуваються при змішуванні води та етанолу є процеси: гідратації, структуроутворення [5].

Сучасні уявлення про будову водно-спиртових сумішей дають можливість визначати нові способи впливу на фізико-хімічні параметри водно-спиртових сумішей, а також водних систем.

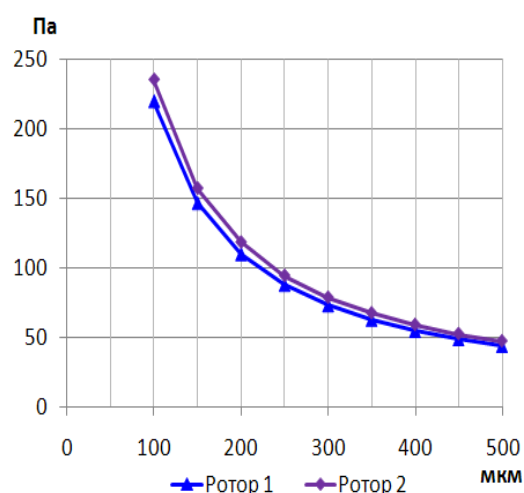
До найбільш розповсюдженого обладнання, що призначене для ініціювання та активізації процесів структуроутворення, гідратації, асоціації, комплексоутворення належать апарати, в яких реалізовано хімічний, фізичний, механічний або комбінований вплив на водні системи та суміші на їх основі.

Аналіз стану розробок в галузі проектування та використання обладнання для процесів змішування свідчить про неефективність проведення процесів в існуючому обладнанні [6]. Основною технічною причиною такого становища є недосконалість традиційних типів обладнання та технологій проведення процесу змішування води та етанолу. З метою зниження енерговитрат та підвищення якості кінцевого продукту перспективним є пошук інноваційного обладнання для проведення процесів змішування та інтенсифікації процесів гідратації, структуроутворення, асоціації в бінарних системах. Одним із фізичних методів, що дає можливість здійснювати вплив на складні системи на мікро- та нано- рівні є метод дискретно-імпульс-

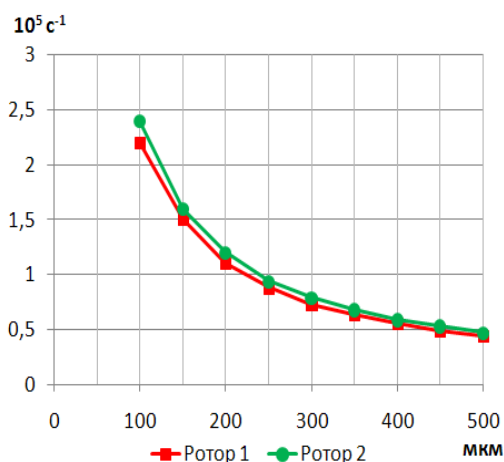
ного введення енергії (ДІВЕ)[7]. Концепція методу полягає у створенні умов, які забезпечують при локальному введенні енергії в технологічну систему, її дискретний розподіл у просторі та імпульсний вплив у часі[8]. Енергія, яка вводиться в систему може бути в різних формах: механічною, тепловою, електричною, електромагнітною та ін. [9]. До основних механізмів ДІВЕ належать: ефекти пов'язані з прискоренням руху неперервної фази, дія напружень зсуву, кавітаційні механізми, механізм вибухового закипання, колективні ефекти в ансамблі бульбашок, збурювання міжфазної поверхні в газорідних бульбашкових середовищах, дія знакозмінних імпульсів тиску [10]. Обробка складних систем в роторно-пульсаційних апаратах (РПА) здійснюється за рахунок імпульсної багатофакторної дії: вихроутворення, мікромасштабних пульсацій тиску, інтенсивної кавітації, ударних хвиль і нелінійних гідроакустичних ефектів [11]. В РПА здійснюється перетворення енергії низької концентрації в енергію високої локальної концентрації у нестійких точках структури речовини [12], що дає можливість ініціювати в системі виникнення водневих зв'язків, інтенсифікувати процеси гідратації, структуроутворення і як наслідок отримати водно-спиртові суміші з покращеними фізико-хімічними параметрами.

**Мета роботи.** Метою проведених досліджень було встановлення кількості шкідливих домішок: 1-пропанолу, 2-пропанолу, ацетальдегіду, метанолу, які містяться у водно-спиртових сумішах, отриманих в умовах знакозмінних імпульсів тиску та визначення основних факторів, які впливають на параметри водно-спиртових сумішей.

**Методика проведення експериментальних досліджень, технічні характеристики обладнання та результати проведених досліджень.** Дослідження проводили на експериментальних стендах в лабораторних умовах Інституту технічної теплофізики та у виробничих умовах на підприємствах України [13]. Було встановлено, що найбільша швидкість зсуву потоку та найінтенсивніші напруження зсуву потоку досягаються в апаратах з міжциліндровим зазором 100мкм (рис. 2, а, б)



а



б

Рис. 2 – Розрахункові залежності конструктивних особливостей: а – графік залежності напружень зсуву від міжциліндрового зазору; б – графік залежності швидкості зсуву від міжциліндрового зазору

На базі апарату з розрахованими конструкційними та технічними параметрами було зібрано експериментальні стенди (рис. 3 а, б).

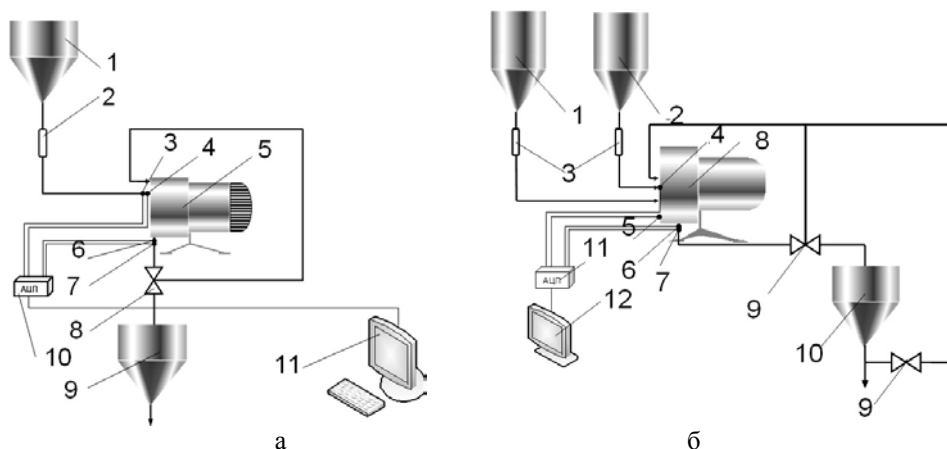


Рис. 3 – Експериментальні стенди для одержання водно-спиртових сумішей в умовах знакозмінних імпульсів тиску: а – 1 – ємність вихідної води; 2 – ротаметр; 3 – датчик температури; 4 – датчик тиску; 5 – РПА; 6 – датчик температури; 7 – датчик тиску; 8 – вентиль; 9 – ємність обробленої води; 10 – аналого-цифровий перетворювач (АЦП); 11 – ПК; б – 1 – ємність зі спиртом; 2 – ємність з водою; 3 – ротаметри; 4 – термомпари; 5 – перетворювач тиску; 6 – термомпара; 7 – перетворювач тиску; 8 – РПА; 9 – вентиль; 10 – ємність з водно-спиртовою сумішшю; 11 – АЦП; 12 – ПК.

Дослідження проводились наступним чином (рис. 3, а). Вода або водно-спиртові суміші із ємності 1 подаються в робочу камеру роторно-пульсаційного апарату 3, через витратомір 2. Після оброблення в робочій камері РПА апарату вода або водні системи направляються в збірну ємність 9 через вентиль 8. Лабораторний стенд укомплектований багатоканальною виміральною цифровою системою 11, яка дає можливість проводити реєстрацію параметрів технологічного процесу: тиску, температури. Робота експериментального стенду (рис. 3, б) відбувалась наступним чином: вода та спирт із ємностей 1 і 2, відповідно, до заданого співвідношення, залежно від необхідної концентрації кінцевої суміші через витратоміри 3 подаються в робочу камеру роторно-пульсаційного апарату 7. У РПА відбувається змішування води та спирту, після чого одержана водно-спиртова суміш направляється в збірну ємність 10 через вентиль 9. Контролювались тиск та температура. Дослідження кількості вмісту та динаміки шкідливих речовин і домішок у водно-спиртових сумішах, отриманих в умовах знакових імпульсів тиску та сумішей, які були отримані за традиційною технологією у апараті з мішалкою проводились на газовому хроматографі Hewlett Packard HP 4890D. Альдегіди у водно-спиртових сумішах представлені в основному оцтовим, пропіоновим та масляним. Проводились дослідження вмісту ацетальдегіду в одержаних водно-спиртових сумішах при різних температурах. Результати представлено на рис. 4.

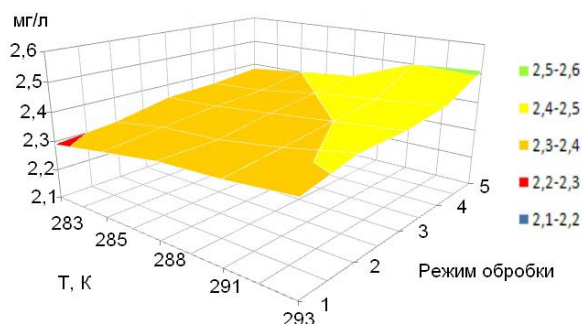
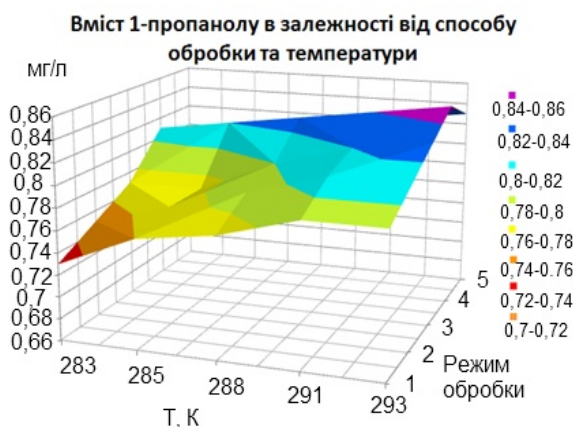


Рис. 4 – Вплив температури та режиму обробки на вміст ацетальдегіду: 1 – змішування в потоці; 2 – режим рециркуляції; 3 – змішування в потоці без активації води; 4 – обробка суміші отриманої за традиційною технологією; 5 – промисловий спосіб



а

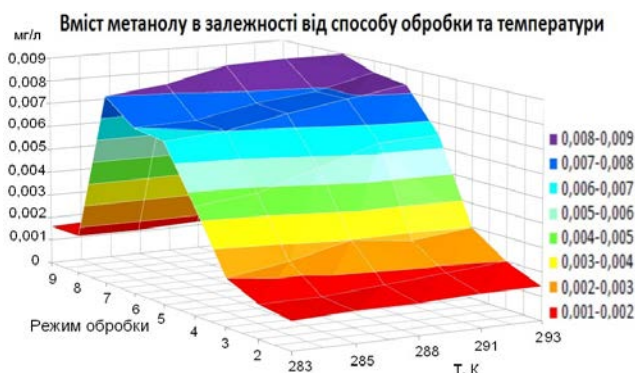
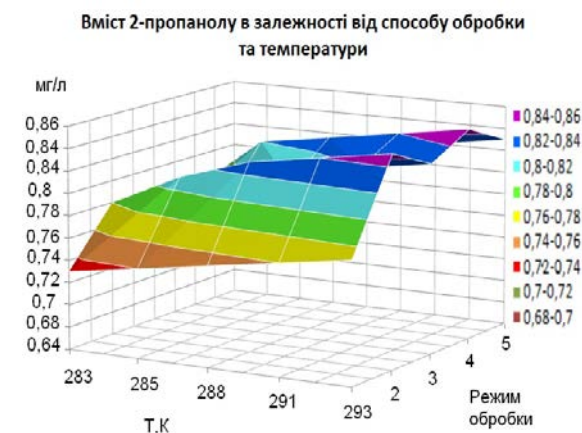


Рис. 5 – Вміст метанолу залежно від способу обробки та температури: 1 – змішування в потоці; 2 – режим обробки 60с; 3 – режим обробки 120с; 4 – режим обробки 180с; 5 – режим обробки 240с; 6 – режим обробки 300с 7 – змішування в потоці без активації води 8 – однократна обробка суміші отриманої за традиційною технологією в апараті з мішалкою; 9 – промисловий спосіб отримання водно-спиртової суміші в апараті з мішалкою

Під час проведення досліджень кількості метанолу рис. 5 в отриманих зразках методом хроматографії було встановлено, що найоптимальнішим технологічним режимом процесу одержання водно-спиртових сумішей є одержання їх в потоці без багатократної обробки. Оптимальною температурою проведення процесу є  $15^{\circ}\text{C}$ .

Вищі спирти з числом вуглеводневих атомів до 10 розчинні у воді (1-пропанол, 2-пропанол) надають спирту неприємного запаху та смаку, окрім цього вони є токсичними речовинами рис. 6, а, б.



б

Рис. 6 – Вміст а – 1-пропанолу, б – 2-пропанолу залежно від температури та способу обробки: 1 – змішування в потоці; 2 – режим рециркуляції; 3 – змішування в потоці без активації води; 4 – обробка суміші отриманої за традиційною технологією; 5 – промисловий спосіб

Дослідження вмісту 1-пропанолу та 2-пропанолу рис.6 а, б свідчать про найоптимальніше проведення процесу змішування при температурі 15<sup>0</sup>С., оскільки пониження температури вихідних компонентів до 10<sup>0</sup>С при яких відбувається ще істотніше зниження шкідливих домішок значно ускладнює технологічний процес, через необхідність застосування додаткового теплообмінного обладнання, що в свою чергу підвищує вартість кінцевого продукту. Під час використання технології одержання водно-спиртових сумішей в умовах знакозмінних імпульсів тиску відбувається інтенсивний вплив напружень зсуву, швидкостей зсуву потоку, високочастотних осциляцій, що призводить до зниження вмісту шкідливих домішок та покращення фізико-хімічних параметрів водно-спиртових сумішей.

### Висновки

В результаті проведених досліджень було встановлено, що метод дискретно-імпульсного введення енергії є перспективним для інтенсифікації фізико-хімічних процесів, що мають місце в бінарних системах спирт-вода в умовах знакозмінних імпульсів тиску, та для оброблення рідинних систем за рахунок енергетичного впливу на мікрорівні. Були визначені оптимальні теплофізичні режими та гідродинамічні фактори дискретно-імпульсного введення енергії що впливають на фізико-хімічні параметри водно-спиртових сумішей. Проведені хроматографічні дослідження демонструють зниження вмісту шкідливих домішок без додаткового введення хімічних речовин та без застосування обладнання для очищення від шкідливих домішок та сполук.

**Список літератури:** 1. Менделеев, Д. И. Растворы [Текст] / Д. И. Менделеев. – Москва: Издательство Академии Наук СССР, – 1959. – 1163 с. 2. Стабников, В. Н. Этиловый спирт [Текст] / В. Н. Стабников, И. М. Ройтер, Т. Б. Процюк. – М.: Пищевая промышленность – 1976. – 273 с. 3. Nose, A. Effects of Salts, Acids, and Phenols on the Hydrogen-Bonding Structure of Water-Ethanol Mixtures [Text] / A. Nose, M. Hojo, T. J. Ueda // Phys. Chem. B, 2004. – Vol. 108. – P. 798–804. 4. Timmermans, J. Ees solutions concentrees [Text] / J. Timmermans. –Paris, 1936. – P. 12. 5. Долінський, А. А. Гидратация этанола с использованием механизмов дискретно-импульсного ввода энергии [Текст] / А. А. Долінський, Ю. А. Шурчкова, И. А. Дубовкина // Материалы VIII международной конференции «Проблемы промышленной теплотехники», 8-11 октября 2013 г., Киев – Режим доступа: <http://itf.kiev.ua/conference>. 6. Задорский, В. М. Интенсификация химико-технологических процессов на основе системного подхода [Текст] / В. М. Задорский. – К.: Техника, 1989. – 208 с. 7. До-

линский, А. А. Дискретно-импульсный ввод энергии [Текст] / А. А. Долінський, Б. И. Басок, А. И. Накорчевский, Ю. А. Шурчкова. – К.: ИТТФ НАНУ, 1996. – 196 с. 8. Долінський, А. А. Наномасштабные эффекты при дискретно-импульсной трансформации энергии [Текст] / А. А. Долінський, Б. И. Басок // ИФЖ. – 2005. – Т. 78, № 1. – С. 15–23. 9. Басок, Б. И. Особенности гидродинамики роторно-пульсационных аппаратов дискового типа [Текст] / Б. И. Басок, Б. В. Давыденко, Ю. С. Кравченко, В. О. Кремнев, И. А. Пироженко // Пром. теплотехника. – 2003. – Т. 25, №3. – С. 21–25. 10. Долінський, А. А. Адиабатически вскипающие потоки. Теория, эксперимент, технологическое использование [Текст] / А. А. Долінський, Б. И. Басок, А. И. Накорчевский. – Киев: Наукова думка, 2001. – 207 с. 11. Долінський, А. А. Вода в условия обработки ДИВЭ [Текст] / А. А. Долінський, Ю. А. Шурчкова // Доповіді НАНУ – 2013. – №8. – С. 35–39. 12. Басок, Б. И. Исследование микроструктуры потока жидкости в роторно-пульсационном аппарате [Текст] / Б. И. Басок, Ю. С. Кравченко, Б. В. Давыденко, И. А. Пироженко // Доповіді НАНУ. – 2003. – №11. – С. 71–76. 13. Долінський, А. А. Исследование влияния метода ДИВЭ на свойства воды [Текст] / А. А. Долінський, Ю. А. Шурчкова, И. А. Дубовкина // Международный НПЖ Керамика: наука и жизнь. – 2013. – №2 (20). – С. 4–6. 14. Технологічний регламент на виробництво горілок і лікєро-горілочних напоїв [Текст] : ТР У 18.5084-96. – К.: УкрНДІспиртбіопрод, 1996.–330 с.

**Bibliography (transliterated):** 1. Mendelev, D. I. (1959). *Rastvory*. Moskva: Izdatelstvo Akademii Nauk SSSR, 1163. 2. Stabnikov, V. N., Royter, I. M.; Protsyuk, T. B. (1976). *Etiloviyi spirt*. Moskva: Pischevaya promyshlennost, 273. 3. Nose, A., Hojo, M., Ueda, T. (2004). Effects of Salts, Acids, and Phenols on the Hydrogen-Bonding Structure of Water-Ethanol Mixtures. *J. Phys. Chem. B*. V. 108, 798–804. 4. Ji Timmermans (1936). *Les solutions concentrees*. Paris, 12. 5. Dolinskiy, A. A., Shurchkova, Yu. A., Dubovkina, I. A. (2013). Gidratatsiya etanola s ispolzovaniem mehanizmov diskretno-impulsnogo vvoda energii. *Materialy VIII mezhdunarodnoy konferentsii «Problemyi promyshlennoy teplotehniky»*. Kiev, <http://itf.kiev.ua/conference>. 6. Zadorskiy, V. M. (1989). *Intensifikatsiya himiko-tehnologicheskikh protsessov na osnove sistemnogo pohoda*. Kiev : Tehnika, 208. 7. Dolinskiy, A. A., Basok, B. I., Nakorchevskiy, A. I., Shurchkova, Yu. A. (1996). *Diskretno-impulsniy vvod energii*. Kiev: ITTF NANU, 196. 8. Dolinskiy, A. A., Basok, B. I. (2005). *Nanomasshtabnye efektyi pri diskretno-impulsnoy transformatsii energii*. IFZh., Vol. 78, № 1, 15–23. 9. Basok, B. I., Davyidenko, B. V., Kravchenko, Yu. S. (2003). *Osobennosti gidrodinamiki rotornopulsatsionnykh apparatov diskovogo tipa*. *Prom. teplotehnika*, Vol. 25, №3, 21–25. 10. Dolinskiy, A. A., Basok, B. I., Nakorchevskiy, A. I. (2001). *Adiabatically vskipyayushchie potoki. Teoriya, eksperiment, tehnologicheskoe ispolzovanie*. Kiev: Naukova dumka, 207. 11. Dolinskiy, A. A., Shurchkova, Yu. A. (2013). *Voda v uslovii obrabotki DIVE*. *Dopovidi NANU*, № 8, 35–39. 12. Basok, B. I., Kravchenko, Yu. S., Davyidenko, B. V., Pirozhenko, I. A. (2003). *Issledovanie mikrostrukturyi potoka zhidkosti v rotornopulsatsionnom apparate*. *Dopovidi NANU*, №11, 71–76. 13. Dolinskiy, A. A., Shurchkova, Yu. A., Dubovkina, I. A. (2013). *Issledovanie vliyaniya metoda DIVE na svoystva vodyi. Mezhdunarodniy NPZh Kераmika: nauka i zhizny*, №2 (20), 4–6. 14. *Tehnologichniy reglament na virobntstvo gorilok i likero-gorilchanih napoyiv* (1996). TR U 18.5084-96, Kiev: UkrNDIspirtbloprod, 330.

Надійшла (received) 14.11.2015

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. Желябова, 2а, м. Київ, 03057; e-mail: [itf\\_tds@ukr.net](mailto: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. Желябова, 2а, м. Київ 03057 ; тел.: 097-674-36-72; e-mail: [idubovkina@yandex.ru](mailto:idubovkina@yandex.ru).