

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

УДК 543.1; 535.016

З. Д. БЕЗРУК, Д. Г. РАДОВ, В. П. МАСЛОВ, Г. В. ДОРОЖИНСЬКИЙ, Г. В. ДОРОЖИНСЬКА,
А. В. КОНЧЕНКО

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ОЧИЩЕННЯ ВОДОПРОВІДНОЇ ВОДИ МЕТОДОМ ВИМОРОЖУВАННЯ

Експериментально виявлено, що ефективність очищення методом виморожування водопровідної води має "S" – подібний графік, який складається з трьох частин: 1 – початковий етап з малою ефективністю; 2 – з високою ефективністю; 3 – де графік поступово наближається до межі, обумовленої фізико-хімічною природою процесу очищення. Ця закономірність дозволяє визначити ефективність процесу в залежності від кількості циклів виморожування. Результати досліджень можуть бути використані для вдосконалення існуючих та створення нових методик контролю процесу очищення водопровідної води.

Ключові слова: водопровідна вода, очищення води, виморожування, кондуктометрія, поверхневий плазмонний резонанс.

Експериментально встановлено, что эффективность очистки методом вымораживания водопроводной воды имеет "S" – подобный график, состоящий из трех частей: 1 – начальный этап с малой эффективностью; 2 – с высокой эффективностью; 3 – где график постепенно приближается к границе, определяемой физико-химической природой процесса очистки. Эта закономерность позволяет определить эффективность процесса в зависимости от количества циклов вымораживания. Результаты исследований могут быть использованы для совершенствования существующих и создания новых методик контроля процесса очистки водопроводной воды.

Ключевые слова: водопроводная вода, очистка воды, вымораживание, кондуктометрия, поверхностный плазмонный резонанс.

One of the most important natural resources was and still water. Therefore, water supply quality drinking water in modern society is an urgent problem. Since drinking water is becoming less growing need cleaning and monitoring its quality. A promising method of treatment of water is freezing. The process of freezing water is used as an industrial scale, and can be easily used at home for further purification of water. It is not investigated patterns of purification of water using freezing.

By conductometry and surface plasmon resonance methods was investigated patterns of purification of tap water depending on the number of freezing. To characterize the quality of water treatment by freezing proposed clean water coefficient, which is determined by the difference between the values of conductivity or refractive indices dirty water and clean water after each cleaning cycle. Experimentally found that cleaning efficiency by freezing water is "S" - like schedule that consists of three parts: 1 – the initial stage of the low efficiency; 2 – high efficiency; 3 – where the schedule is gradually approaching the limit, due to physical and chemical nature of the cleaning process. This pattern to determine the effectiveness of the process depending on the number of cycles of freezing. The research results can be used to improve existing and create new methods of process control of water.

Keywords: tap water, water purification, freezing, conductometry, surface plasmon resonance.

Вступ. Одним з найбільш важливих природних ресурсів була і залишається вода. Це і обов'язкова складова у виробничих процесах, і основна складова життєдіяльності людини, забезпечує нормальні умови існування та проживання. З огляду на досить різноманітний вміст небажаних домішок у воді, яка використовується для споживання, є актуальною проблема її очищення. Вода, яка містить багато домішок впливає на здоров'я нації, призводить до надмірного використання миючих засобів у побуті та виходу з ладу побутової техніки через утворення накипу тощо.

За підрахунками ООН 31 жовтня 2011 року чисельність населення Землі сягнула 7 мільярдів осіб, при чому 1999 року вона становила 6 мільярдів. За прогнозами, до кінця цього століття загальна чисельність населення в світі може налічувати понад 10 млрд. [1], що передбачає збільшення потреб у використанні природних ресурсів, дефіцит яких спостерігається на даний час, водні ресурси забруднюються різного роду відходами від промисловості та сільського господарства. Тому водопостачання населення якісною питною водою на сучасному етапі розвитку суспільства є актуальною проблемою.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Як відомо, організм людини складається на 2/3 із води. Добова потреба в воді для дорослої людини – 2–2,5 л. та повинна відповідати наступним нормам:

- 1) бути безпечною в санітарно-епідемічному відношенні;
- 2) бути придатною за хімічним складом;
- 3) мати відповідні органолептичні властивості: бути прозорою, не мати кольору, запаху та стороннього присмаку [2].

Існує багато методів очистки, які забезпечують вимоги до питної води [3]. Основними методами контролю очищення води є: фотометричний, титриметричний, гравіметричний, потенціометричний, атомно-абсорбційний, хроматографічний, спектральний, радіометричний, рентгеноспектральний, флуоресцентний та електрохімічні методи [4]. Основними недоліками існуючих методів визначення якості води є потреба у пробопідготовці, велика площа, маса та висока вартість аналітичного обладнання. Пріоритетними тенденціями розвитку методів контролю є підвищення точності і чутливості методик вимірювання, зменшення часу отримання результатів вимірювання та зменшення об'ємів досліджуваних проб.

В роботі застосовані два методи контролю: кондуктометричний [5], як найбільш простий в реалізації, та новий – на основі явища поверхневого плазмонного резонансу (ППР) [6]. Прилади, на основі ППР, мають високу точність вимірювання і високу чутливість до малих концентрацій домішок у воді.

© З. Д. Безрук, Д. Г. Радов, В. П. Маслов, Г. В. Дорожинський,
Г. В. Дорожинська, А. В. Конченко. 2016

Ці методи контролю були використані для вивчення процесу очищення водопровідної води при її виморожуванні. Процес виморожування води використовується як в промислових масштабах [7–10], а також може бути просто застосований в домашніх умовах для додаткового очищення водопровідної води. Але в літературі відсутні дані щодо закономірностей процесу очищення води виморожуванням.

Ціль та задачі дослідження. Метою роботи дослідження є дослідження закономірностей очищення водопровідної води методом виморожування.

Для досягнення цієї мети були поставлені наступні завдання:

1. Провести аналіз стану проблеми забезпечення населення питною водою, існуючих методів очищення та контролю цього процесу.

2. Дослідити методами кондуктометрії та поверхневого плазмонного резонансу закономірності процесу очищення водопровідної води методом виморожування в залежності від кількості циклів виморожування.

3. Узагальнити експериментальну закономірність процесу очищення води.

Матеріали та методи дослідження процесу додаткового очищення питної води методом поверхневого плазмонного резонансу. Методичною основою виконання комплексних досліджень є: чисельний аналіз залежностей різниці електричних провідностей зразків води дистильованої та водопровідної від кількості циклів її виморожування.

Об'єктом дослідження є процес очищення питної води.

Предметом дослідження є закономірності питомого опору та ППР параметрів водопровідної води від кількості циклів її виморожування.

Методика дослідження:

Досліджували зразки водопровідної води м. Києва та дистильовану воду (провідність 3 ± 2 мкСм/см при 20°C). Відомо, що ця вода постачається з міської Дніпровської водопровідної станції. На станції запроєктована традиційна схема реагентної очистки води з відстоюванням та фільтруванням. Кінцевий споживач отримує водопровідну воду, яку можна додатково очистити методом виморожування. При цьому методі заданий об'єм води в пластмасових пробірках (в наших експериментах об'єм дорівнював 25 мл) заморожують в морозильній камері при мінус 20°C протягом певного часу, при якому половина об'єму перетворювалася у лід, (в наших експериментах час виморожування дорівнював двом годинам). Потім пробірки діставали з морозильної камери. Вода, що не замерзла і мала збільшену кількість солей та домішок, зливалася, а заморожену частину розморожували. Вимірювали електропровідність (величина обернена до питомого електричного опору) води, яка не замерзала і талу воду після розмороження льоду. Різницю цих двох значень ми використовували як коефіцієнт очищення цього циклу виморожування. Талу воду знову виморожували та проводили повторний цикл виморожування та вимірювання. Для визначення закономірності процесу очищення проводили десять циклів виморожування та вимірювання.

Вимірювання ППР параметрів (кутового зсуву мінімуму характеристики відбиття) води проводили за методикою викладеною в роботі [6].

Експериментальні результати та їх аналіз. Для вимірювань кондуктометричним методом необхідно більший об'єм проби досліджуваної рідини (не менше 10 мл), ніж для методу ППР, тому після п'яти циклів виморожування цей метод не змогли більше застосувати через недостатню кількість проби води.

Початок графіку залежності питомого опору зразків водопровідної води від кількості циклів виморожування (рис. 1) добре апроксимується функцією (1) з коефіцієнтом узгодження $R^2=0,99205$.

$$y(x) = y_0 + A \cdot \exp(x/B), \quad (1)$$

де $y_0=0,96 \pm 0,11$; $A=6,91 \pm 0,94$; $B=1,83 \pm 0,13$.

В результаті проведених досліджень було встановлено, що процес виморожування водопровідної води призводить до зменшення її електричної провідності (табл. 1). В табл. 1 наведено виміряні значення електричної провідності водопровідної води до та після кожного циклу виморожування.

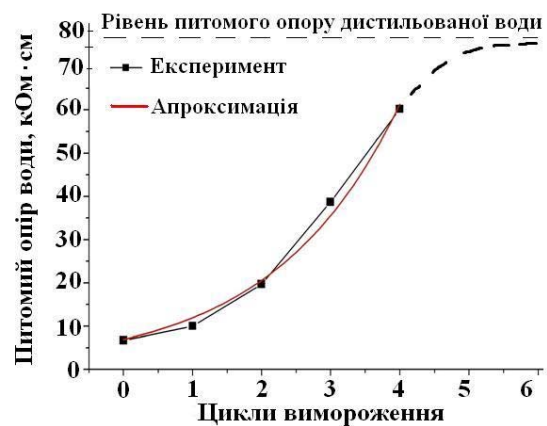


Рис. 1 – Графік залежності питомого опору води від кількості циклів виморожування

Для 4-го циклу виморожування різниця у значеннях електричної провідності еталону та вимороженої води (54 ± 2 мкСм/см) на порядок більша за величину роздільної здатності кондуктометра (1 мкСм/см) та для п'ятого циклу різниця у вимірюваннях становила 1 мкСм/см, що менше за величину похибки приладу. Крім того кондуктометр не може визначити вміст органічних домішок, таких як, наприклад, метанол, оскільки він не дисоціює у воді. Це було підтверджено експериментально при дослідженні чотирьох зразків 40%-го водного розчину етанолу з домішкою метанолу (табл. 2). Концентрація метанолу в зразках була від 0,04 %об. до 5 %об.

Проведений нами експеримент показав, що метод ППР виявляє метанол у водному розчині етанолу, в той час як кондуктометричним методом неможливо його виявити.

Таблиця 1 – Виміряні електричні провідності зразків водопровідної води

№ п.п.	Цикл вимороження	Провідність вимороженої водопровідної води S_v , мкСм/см	Провідність водопровідної води, що не замерзла S_n , мкСм/см
1	без виморож.	–	501±2
2	1	275±2	734±2
3	2	163±2	446±2
4	3	82±2	243±2
5	4	51±2	105±2
6	5	48±2	49±2

Таблиця 2 – Експериментальні значення провідності та параметру ППР для різних концентрацій метанолу у водно-спиртовому розчині

№ п.п.	Концентрація метанолу у водному розчині етанолу, %об.	Провідність водного розчину етанолу з метанолом, мкСм/см	Параметр ППР, кут.град.
1	0	3±2	0
2	0,04±0,01	3±2	0,027±0,001
3	0,29±0,01	3±2	0,030±0,001
4	1,00±0,01	3±2	0,038±0,001
5	5,00±0,01	3±2	0,156±0,001

Обговорення результатів дослідження процесу додаткового очищення питної води методом поверхневого плазмонного резонансу. Було зроблено припущення, що при збільшенні кількості циклів виморожування величина питомого електричного опору буде наближатися до значення, що відповідає дистильованій воді (рис. 1). Цю гіпотезу потрібно було перевірити з використанням методу ППР, який потребує в десятки разів менший об'єм проби (0,1...0,5 мл). На (рис. 2) наведені графіки залежності коефіцієнту ефективності очищення від кількості циклів виморожування. Коефіцієнт ефективності очищення був розрахований за формулою (2) відповідно до методики [6].

$$KEO_i = 1 - (0,5 \cdot (S_{n_i} + S_{v_i}) / dS) \quad (2)$$

де, S_{n_i} – значення провідності водопровідної води, що не замерзла, для i -го циклу виморожування, мкСм/см; S_{v_i} – значення провідності вимороженої водопровідної води для i -го циклу виморожування, мкСм/см; dS – різниця у значеннях електричної провідності водопровідної та дистильованої вода, мкСм/см.

Можна побачити, що наша гіпотеза цілком підтвердилась. Таким чином, нами була виявлена закономірність процесу очищення водопровідної води методом виморожування. Експериментально виявлено, що ефективність очищення методом виморожування має “S”- подібний графік, який складається з трьох частин:

- 1 – початковий етап з малою ефективністю;
- 2 – з високою ефективністю;
- 3 – де графік поступово наближається до межі, обумовленої фізико-хімічною природою процесу очищення.

Ця закономірність дозволяє визначити ефективність процесу в залежності від кількості циклів виморожування. З цього графіку видно, що після другого циклу виморожування є ефективними, а найкращі результати за ефективністю можна отримати на третьому або четвертому циклі. Ця закономірність відповідає вимірюванням як кондуктометричним методом, так і ППР методом (рис. 2).

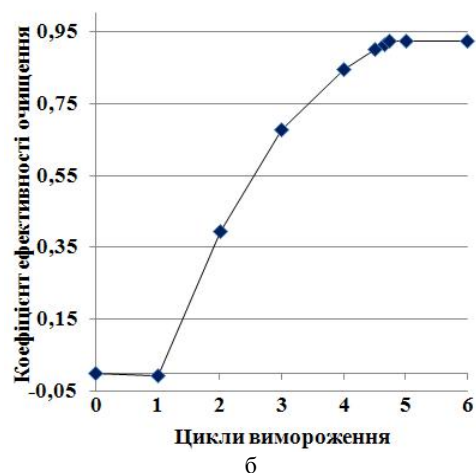
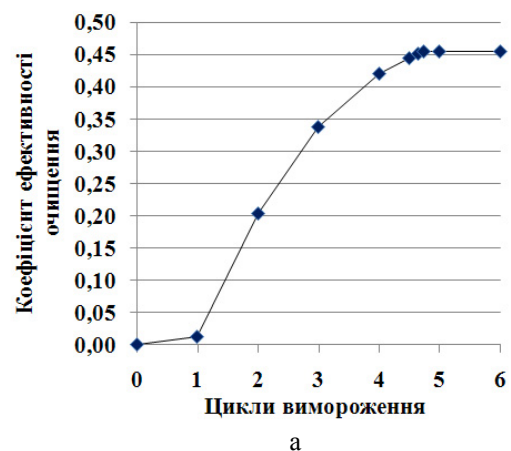


Рис. 2 – Розраховані залежності коефіцієнту ефективності очищення води від кількості циклів її заморожування при контролі: а – методом поверхневого плазмонного резонансу; б – кондуктометричним методом

Висновки. Двома методами (кондуктометричним та методом поверхневого плазмонного резонансу) визначено закономірності очищення питної води методом виморожування. Ця закономірність може бути представлена “S”- подібним графіком, який складається з трьох частин:

- 1 – початковий етап з малою ефективністю;
- 2 – з високою ефективністю;

3 – де графік поступово наближається до межі, обумовленої фізико-хімічною природою процесу очищення.

Досліджена закономірність дозволяє визначити ефективність процесу в залежності від кількості циклів виморожування. Показано експериментально, що методом ППР можуть бути виявлені шкідливі органічні домішки у воді та водних розчинах етанолу. При цьому кондуктометричним методом їх виявити неможливо.

Список літератури:

1. World population [Electronic resource]. – Available at: <http://www.census.gov/popclock>
2. Пашиківська, О. С. Вода та її значення для здоров'я людини. Біологічні дослідження [Текст] / О. С. Пашиківська, Н. В. Бродецька // Науковий вісник Житомирського державного університету імені Івана Франка. – 2013. – № 14. – С. 186–187.
3. Гигиенические требования к воде питьевой, предназначенной для потребления человеком [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://home.chem.univ.kiev.ua/sol/specifications/water/sanpin_2_4-171-10.pdf
4. Гончарук, В. В. Современные технологии очистки воды [Текст] / В. В. Гончарук, Д. Д. Кучерук, А. О. Самсон-Тодоров, В. Ф. Скубченко // Наука та інновації. – 2006. – Т. 2., № 5. – С. 66–77.
5. Луговской, А. Ф. Оценка методов обеззараживания воды [Текст] / А. Ф. Луговской, А. В. Мовчанюк, И. А. Гришко // Вестник НТУУ "КПИ". – 2007. – № 52. – С. 103–111.
6. Радов, Д. Г. Дослідження процесу додаткового очищення питної води методом поверхневого плазмонного резонансу [Текст] / Д. Г. Радов, В. П. Маслов, Г. В. Дорожинський // Вісник НТУ «ХПІ». – 2016. – № 49 (1221). – С. 89–94.
7. Пат. № 2395459 RU. Опреснительный комплекс. МПК C02F 1/14, A01G 31/02 [Текст] / Карпович С. С., Саркисов А. С., Микуняева В. В. – № 2008117600/12; заявл. 20.11.2009; опубл. 27.07.2010, Бюл. № 21.
8. Пат. № 2507157 RU. Устройство для получения талой воды МПК C02F 1/22 (2006.01), F25C 1/12 [Текст] / Исмаилов Т. А., Гаджиев А. М., Рашидханов А. Т., Миспахов И. Ш. – № 2012104690/05; заявл. 09.02.2012; опубл. 20.02.2014, Бюл. № 5.
9. Пат. № 2226504 RU. Способ опреснения минерализованных вод и установка для его осуществления [Текст] / Алимов, А. Г.

- Карпунин, В. В. Алимов, А. А. Абезин, В. Г. Алимов, О. А. Карпунин, В. В. Сердюков Д. А. – № 2003107524/15; заявл 19.03.2003; опубл. 10.04.2004, Бюл. № 10.
10. Пат. № 2274607 RU. Способ очистки воды и установка для его осуществления [Текст] / Высоцкий Е. Н., Высоцкий Д. Е., Высоцкий И. Е. – № 2003104764/15; заявл 17.02.2003; опубл. 20.04.2006, Бюл. № 11.

Bibliography (transliterated):

1. World population. Available at: <http://www.census.gov/popclock/>.
2. Pashkivska, O. S., Brodecka, N. V. (2013). Voda ta yiyi znachennya dlya zdorov'ya lyudyny. Biologichni doslidzhennya. Naukovyj visnyk Zhytomyrskoho derzhavnogo universytetu imeni Ivana Franka, 14, 186–187.
3. Gigenicheskie trebovaniya k vode pit'evoy, prednazanachenoj dlja potrebleniya chelovekom. Available at: http://home.chem.univ.kiev.ua/sol/specifications/water/sanpin_2_4-171-10.pdf
4. Honcharuk, V. V., Kucheruk, D. D., Samsony-Todorov, A. O., Skubchenko, V. F. (2006). Sovremennye tekhnolohyy ochystky vody. Nauka ta innovaciya, 2 (5), 66–77.
5. Luhovskoy, A. F., Movchanyuk, A. B., Hryshko, Y. A. (2007). Ocenka metodov obezrazhyvaniya vody. Vestnyk NTUU "KPY", 52, 103–111.
6. Radov, D. G., Maslov, V. P., Dorozinsky, G. V. (2016). Doslidzhennya processu dodatkovoho ochyshhennya pytnoyi vodu metodom poverkhnevoho plazmonnoho rezonansu. Visnyk NTU «KhPI», 49 (1221), 89–94.
7. Karpovich, S. S., Sarkisov, A. S., Mikuljaeva, V. V. (2009). Pat. No. 2395459 RU. Opresnitel'nyj kompleks. MPK C02F 1/14, A01G 31/02. No. 2008117600/12; declared: 20.11.2009; published: 27.07.2010, Bul. No. 21.
8. Ismailov, T. A., Gadzhiev, A. M., Rashidhanov, A. T., Mispahov, I. Sh. (2012). Pat. No. 2507157 RU. Ustrojstvo dlja poluchenija taloj vody MPK C02F 1/22 (2006.01), F25C 1/12. No. 2012104690/05; declared: 09.02.2012; published: 20.02.2014, Bul. No. 5.
9. Alimov, A. G., Karpunin, V. V., Alimov, A. A., Abezina, V. G., Alimov, O. A., Karpunin, V. V., Serdjukov, D. A. (2003). Pat. No. 2226504 RU. Sposob opresneniya mineralizovannykh vod i ustanovka dlja ego osushhestvleniya. No. 2003107524/15; declared: 19.03.2003; published: 10.04.2004, Bul. No. 10.
10. Vysockij, E. N., Vysockij, D. E., Vysockij, I. E. (2003). Pat. No. 2274607 RU. Sposob ochystki vody i ustanovka dlja ego osushhestvleniya osushhestvleniya. No. 2003104764/15; declared: 17.02.2003; published: 20.04.2006, Bjul. No.

Надійшла (received) 15.12.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Дослідження закономірностей очищення водопровідної води методом виморожування / З. Д. Безрук, Д. Г. Радов, В. П. Маслов, Г. В. Дорожинський, Г. В. Дорожинська, А. В. Конченко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – No 50(1222). – С.137–141. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Исследование закономерностей очистки водопроводной воды методом вымораживания / З. Д. Безрук, Д. Г. Радов, В. П. Маслов, Г. В. Дорожинский, Г. В. Дорожинская, А. В. Конченко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – No 50(1222). – С.137–141. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Investigation of water treatment by freezing method/ Z. Bezruk, D. Radov, V. Maslov, G. Dorozinsky, G. Dorozinska, A. Konchenko //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2016. – No 50 (1222). – P.137–141. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

Безрук Зоя Домініківна – кандидат технічних наук, начальник відділу інструментально–лабораторного контролю, Державна екологічна інспекція у місті Києві, Міністерство охорони навколишнього природного середовища України, вул. Набережно–Лугова, 4, м. Київ, Україна, 04080

Радов Денис Георгійович – працівник ДК «Укроборонпром»; вул. Дегтярівська, 36, м. Київ, Україна, 04119; e–mail: Denis.Radov@ukroboronprom.com.

Маслов Володимир Петрович – доктор технічних наук, професор, Інститут фізики напівпровідників імені В. Є. Лашкарьова НАН України, завідувач відділу фізико–технологічних основ сенсорного матеріалознавства; пр. Науки, 41, м. Київ, Україна, 03028; e–mail: vpmaslov@ukr.net.

Дорожинський Гліб Вячеславович – кандидат технічних наук, Інститут фізики напівпровідників імені В. Є. Лашкарьова НАН України, старший науковий співробітник відділу фізико–технологічних основ сенсорного матеріалознавства; пр. Науки, 41, м. Київ, Україна, 03028; e–mail: gvdorozinsky@ukr.net.

Дорожинська Ганна Василівна – аспірант, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», аспірант кафедри інформаційно–вимірювальних систем та технології екологічного моніторингу; пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056; e–mail: annakushnir30@ukr.net.

Конченко Алла Вікторівна – студент кафедри інформаційно–вимірювальних систем та технології екологічного моніторингу, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», студент кафедри інформаційно–вимірювальних систем та технології екологічного моніторингу; пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056; e–mail: spacespark315@gmail.com.

Безрук Зоя Доминиковна – кандидат технических наук, начальник отдела инструментально–лабораторного контроля, Государственная экологическая инспекция в городе Киеве, Министерство охраны окружающей природной среды Украины, ул. Набережно–Луговая, 4, г. Киев, Украина, 04080

Радов Денис Георгиевич – работник ГК «Укроборонпром»; ул. Дегтярёвская, 36, г. Киев, Украина, 04119; e–mail: Denis.Radov@ukroboronprom.com.

Маслов Владимир Петрович – доктор технических наук, профессор, Институт физики полупроводников имени В. Е. Лашкарёва НАН Украины, заведующий отделом физико–технологических основ сенсорного материаловедения; пр. Науки, 41, г. Киев, Украина, 03028; e–mail: vpmaslov@ukr.net.

Дорожинский Глеб Вячеславович – кандидат технических наук, Институт физики полупроводников имени В. Е. Лашкарёва НАН Украины, старший научный сотрудник отдела физико–технологических основ сенсорного материаловедения; пр. Науки, 41, г. Киев, Украина, 03028; e–mail: gvdorozinsky@ukr.net.

Дорожинская Анна Васильевна – аспірант, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», аспірант кафедры информационно–измерительных систем и технологии экологического мониторинга; пр. Победы, 37, г. Киев, Украина, 03056; e–mail: annakushnir30@ukr.net.

Конченко Алла Викторовна – студент, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», студент кафедры информационно–измерительных систем и технологии экологического мониторинга; пр. Победы, 37, г. Киев, Украина, 03056; e–mail: spacespark315@gmail.com.

Bezruk Zoja – PhD, head of Instrumental and Laboratory Control Department, State Ecological Inspectorate in the city of Kiev, Ministry of Environmental Protection of Ukraine, 4 Naberezhno–Lugovaya str., Kiev, Ukraine, 04080;

Radov Denys – employee SC “Ukroboronprom”; 36 Dehtiarivska str., Kyiv, Ukraine, 04119; e–mail: Denis.Radov@ukroboronprom.com.

Maslov Volodymyr – Doctor of Technical Sciences, V. Ye. Lashkaryov Institute of semiconductor physics NAS of Ukraine, Professor, head of department of physical and technological bases of sensory materials; Nauky ave., 41, Kyiv, Ukraine, 03028; e–mail: vpmaslov@ukr.net.

Dorozinsky Glib – PhD, V. Ye. Lashkaryov Institute of semiconductor physics NAS of Ukraine, senior researcher of department of physical and technological bases of sensory materials; Nauky ave., 41, Kyiv, Ukraine, 03028; e–mail: gvdorozinsky@ukr.net.

Dorozinska Hanna – graduate student, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", graduate student of the Department of Information and Measurement Systems and Technology of Environmental Monitoring, Peremogy ave., 37, Kiev, Ukraine, 03056; e–mail: annakushnir30@ukr.net.

Konchenko Alla – student, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", student of the Department of Information and Measurement Systems and Technology of Environmental Monitoring; Peremogy ave., 37, Kiev, Ukraine, 03056; e–mail: spacespark315@gmail.com.