

УДК 666.75

DOI: 10.15587/2313-8416.2016.58794

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ УТИЛІЗАЦІЇ ЕКРАННОГО СКЛОБОЮ У ВИРОБНИЦТВІ СКЛОКЕРАМІЧНОЇ ПЛИТКИ

© Н. І. Завгородня

*Висвітлено один із напрямків використання екранного склобою видалених із вжитку кінескопів як цінної неорганічної вторинної сировини. Обрано за мету: визначення оптимального вмісту склобою в шихті для виготовлення склокерамічної плитки. Основний метод – випробування фізико-хімічних властивостей дослідних зразків в експериментальних умовах, максимально наближених до реальних. Прогнозується ресурсозбереження вторинної неорганічної сировини, зменшення шкідливого впливу на довкілля твердих побутових відходів*

**Ключові слова:** *склобій екранного скла, неорганічна склокераміка, мікрокристалічна кераміка, неорганічна вторинна сировина*

*One of the directions of utilization of screen cullet of cathode ray tubes that came into disuse as inorganic valuable secondary raw materials is shown in the article. It was chosen as the aim: determine the optimal cullet content in the charge for making glass-ceramic tile. The basic method is the testing physical and chemical properties of experimental prototypes in conditions as close to real. It will be projected resource economy of inorganic secondary raw materials, reduction of harmful environmental impact of solid waste*

**Keywords:** *screen cullet, inorganic glass ceramics, microcrystalline ceramics, inorganic secondary raw materials*

### 1. Вступ

В поточний час склобій один із регулярно використовуваних видів вторинної сировини. Це пояснюється рядом факторів. Розбите скло змінює форму, але не змінює властивості, залишаючись природним матеріалом. Більше того, введення в скломасу бою дозволяє оптимізувати технологічний процес через сприяння розплавленню та гомогенізації скла, зменшення вмісту шкідливих домішок в порівнянні з їх вмістом в піску [1]. За рахунок цього знижується температура варіння, зменшується споживання енергоносіїв, зростає строк служби печей.

Більшість підприємств скляної промисловості, які використовують на цей час склобій, (використання в скломасі лише 10 % склобою дозволяє зекономити енергії технологічного циклу на 3 %; на кожних 100 кг введеного в шихту склобою економиться 126 кг первинної сировини) були побудовані за радянських часів, однак за останні роки вони суттєво модернізовані. Ця галузь стабільно нарощувала обсяги використання склобою. Перспективним у розвитку утилізації склобою вважається підвищення вмісту склобою у шихті, використання склобою у будівельній промисловості (виробництво склопластику, скловолокна тощо). Прогнозується, що попит на цю сировину зростатиме, ставиться наголос на удосконаленні збору склотари при роздільному збиранні складових твердих побутових відходів [1].

В зв'язку з видаленням з вжитку застарілих моделей телевізорів та моніторів з електронно-променевими трубками зростає маса склобою екранного скла (в залежності від марки телевізора – монітора маса склобою з однієї одиниці коливається від 3 до 10 кг), кількість застарілих моделей вимірюється мільйонами. Для збереження цінної неорганічної сировини, зменшення об'ємів твердих побутових відходів та їх шкідливого впливу на довкілля виконані

дослідження процесу утилізації екранного склобою у виробництві склокерамічної плитки. Серед можливостей склокераміки розширення можливості використання техніки виробництва скла.

### 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Ситуація на світовому ринку переробки склобою в поточний час така, яку важко було уявити ще 20 років тому. Скловарні печі і автоматизовані машини, різке зменшення ваги кожної одиниці і безперервне зростання цін на неї, передові наукові розробки в галузі переробки скла та багато іншого сприяють росту популярності скляного бізнесу [2].

Склобій як сировину в поточний час ставлять на один рівень з піском, вапном, содою, а інколи і вище. В зв'язку з тим, що використання битого скла значно економить час і енергоресурси в процесі варіння, дозволяє збільшити строки якісної безперервної роботи печей, підвищує екологічність виробництва та зменшує об'єми відходів, така сировина в наш час необхідна для багатьох галузей промисловості.

У всьому світі основний напрямок застосування склобою – виробництво нової тари. Проте це не єдиний напрямок. За останні 20 років в США, Канаді, Німеччині розроблені технології, які передбачають використання склобою при будівництві автомобільних шляхів. Проводились дослідження, спрямовані на заміну кам'яних наповнювачів в бетоні склобоєм. Значним напрямком використання склобою в усьому світі вважається виробництво піноматеріалів [3].

Ще один спосіб утилізації склобою – виробництво скловолокна. В Англії деякі фірми пропонують новий спосіб виробництва скловолокна з відходів, який дозволяє зменшити його вартість на 30 %. У Фінляндії працюють заводи по виробництву теплоізоляційних виробів на основі скловолокна. При ви-

робництві кам'яної вати використовується 25 % склобою. Деякі зарубіжні компанії вивчають можливість застосування подрібненого склобою в сільському господарстві для покращення структури ґрунтів. Вже має досвід застосування відходів скла в якості заповнювача при виробництві лакофарбових матеріалів, шпалерного паперу, пластмас, абразивних матеріалів для скляної шліфувальної шкірки на паперовій основі та шліфувального кола.

Свинцеве та барієво-стронцієве скло кінескопів з електронно-променевими трубками вилучених із вжитку телевізорів та моніторів до недавнього часу в основному відправлялось на заводи для виготовлення нових кінескопів. Проте з появою рідкокристалічних і плазмових моніторів виробництво кінескопів припинилось, що зробило даний спосіб переробки практично не актуальним. Однак, в Китаї існують підприємства, які можуть використовувати до 100 тис. т на рік такого скла, що складає лиш незначну частку від загальної його кількості – 5, 2 млн. т.

Відмічається, що барієво-стронцієве скло застосовується у виробництві будівельних матеріалів в зв'язку з низьким вилуговуванням іонів барію та стронцію, концентрація яких не перевищує допустимих норм.

На поточний час єдиним і широко розповсюдженим методом переробки свинцевого скла є застосування його в якості вторинної сировини для отримання свинцю. Для цього використовують металургійні плавильні печі, в яких флюс частково заміщується свинцевим склобом. Проте кількість печей, які використовують свинцевий склобій в своєму технологічному процесі, на весь світ досить таки незначна (США, Канада, Швеція, Бельгія). По цій причині, а також із-за значних затрат на транспортування вторинної сировини до цих печей, найпростіше було б відправити свинцевий склобій на полігон. Проте деякі країни (Великобританія) розробляють і впроваджують в експлуатацію печі, для отримання свинцю із склобою. Така піч може переробити до 400 тон склобою, або до 2000 телевізорів в день.

Були запропоновані також альтернативні методи свинцевого скла. В цілому вони всі зводяться до використання склобою при виготовленні будівельних матеріалів (піноскло) або в якості домішки в такі будівельні матеріали, як цегла, бетон, цемент, декоративна плитка тощо. Будівельні матеріали з підвищеним вмістом свинцевого склобою можна використовувати для захисту від рентгенівського випромінювання. Також пропонується використовувати свинцевий склобій в керамічній промисловості для виготовлення глазурі, стійкої до вилуговування [4–6].

### 3. Ціль та задачі досліджень.

Мета роботи – встановлення оптимального вмісту екранного склобою в шихті для виготовлення склокерамічної плитки із зниженням температури розм'якшення та невисокою в'язкістю розплаву.

Об'єкт дослідження – процес виготовлення склокерамічної плитки із використанням в шихті 50 %-го вмісту екранного склобою відпрацьованих телевізійних кінескопів та комп'ютерних моніторів.

Предмет дослідження – фізико – хімічні умови та технологічні параметри виготовлення склокерамічної плитки з 50 % вмістом екранного склобою.

### 4. Дослідження процесу утилізації екранного склобою у виробництві склокерамічної плитки для збереження цінної неорганічної сировини, зменшення об'ємів твердих побутових відходів та їх шкідливого впливу на довкілля. Методика експерименту

Підготовка екранного склобою. Після ручного демонтажу друкованих плат, динаміки, проводів, захисного металевих кожуху, відхиляючої системи та електронної пушки екрани кінескопів відрізають по лінії зварювання від конуса алмазним колом, зчищають люмінофор лабораторним пілососом, а екрани відмивають від технологічного бруду, висушують для підготовки до роздавлювання та подрібнення. Роздавлюють екрани під пресом з питомим тиском 3 т/см<sup>2</sup>. Подрібнюють у шоківій дробарці з зазором 0,1–1,5 мм до проходження порошку через сито № 02 і остаточно розмелюють в барабанному млині з фарфоровими мелючими тілами. Пісок, що використовується в якості основи склокерамічної плитки, теж подрібнюють в такому ж млині до фракції 0,2 мм.

Виготовлення дослідних зразків склокерамічної плитки. Для встановлення оптимального вмісту порошку екранного склобою в співвідношенні з кварцовим піском виконали багаторазові дослідження з 10 %, 20 %, 30 %, 40 %, 50 % вмістом екранного склобою. Для вибору оптимального вмісту порошку склобою необхідно було дотримуватися наступних вимог:

– доля склоутворюючого оксиду повинна бути не нижча 70–74 % для забезпечення достатньої сили поля, щоб розмістити іони кисню в необхідній кількості в розплаві;

– вміст оксидів лужних металів не повинен перевищувати 12 %, щоб не призвести до вкорочення довжини ланцюгів мережі скла, а також забезпечити необхідну якість розплаву шляхом утворення навкруг їх поліедрів іонів кисню щільної упаковки, дякуючи цьому легше досягається впорядкованість кристалічного розміщення в силікатах;

– сумарний вміст  $Al_2O_3 + Na_2O + K_2O$  повинен перевищувати граничний вміст оксидів лужних металів в трьох бінарних системах  $Al_2O_3-SiO_2$ ,  $Na_2O-SiO_2$ ,  $K_2O-SiO_2$  для забезпечення видозміни структури розплаву;

–  $Al_2O_3$  може послаблювати тенденцію до девіттрифікації, тому вміст його не повинен перевищувати 5–10 %.

Оптимальним виявилось співвідношення 50 % підготовленого піску та 50 % екранного склобою. В такому співвідношенні порошок склобою з піском перемішували у фарфорових барабанах валкового млина протягом 0,5 години. В отриману суміш додавали в якості в'язучого 5 % розчин полівінілового спирту з розрахунку 1 мл на 100 мас. частин суміші і знову ретельно перемішували.

Із отриманого прес – порошку методом двоступінчатого пресування в металевій формі формува-

ли плитки розміром 70·30·10 мм (прес ПСУ – 10 з тиском 5 т/см<sup>2</sup>).

Після висушування в сушильній шафі при температурі 80 °С плитку випалювали в силітовій печі. Було досліджено декілька режимів випалу. Орієнтиром оптимального режиму слугувала прозорість скла в формах, що визначається особливостями поведінки в'язкості від температури. За готовністю склокерамічної плитки спостерігали, відкриваючи віко печі. Оптимальний режим випалу: повільне підймання температури до 500 °С для випалу в'язучого, швидке підймання температури до 950 °С з витримуванням протягом 0,5 години; охолодження до кімнатної температури разом з вимкненою піччю.

### 5. Результати та їх обговорення

Склокерамічний процес складається із стадій виготовлення однорідного скла, формування із нього потрібних виробів, термообробки для перетворення скла в мікрокристалічну кераміку.

Скло – типовий представник аморфних твердих речовин, що відрізняються від кристалічних твердих тіл повною неупорядкованістю розташування в ньому атомів. Це пояснюють недостатньою рухомістю атомів під час кристалізації, що перешкоджає упорядкованому розташуванню атомів [7–9].

В табл. 1 наведений усереднений хімічний аналіз кварцового піску та порошку екранного скла бою відпрацьованих телевізійних кінескопів та комп'ютерних моніторів.

Таблиця 1

Хімічний вміст піску та екранного скла бою

| Назва речовини | Хімічний вміст, % |                                |                                |                   |                  |         |                                |
|----------------|-------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------|------------------|---------|--------------------------------|
|                | SiO <sub>2</sub>  | Ba <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | CaO     | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
| Пісок          | 68–80,5           | –                              | 13–15                          | 0,7–1,0           | 0,7–1,0          | 3,0–4,0 | 1,5–2,0                        |
| Екранне скло   | 68,5–75,4         | 2,8–3                          | 4,0–4,4                        | 10,0–11,0         | 7,7–8,4          | –       | –                              |

Дані табл. 1 свідчать, що в шихту склокерамічної плитки вводяться з порошком екранного скла бою два склоутворюючих оксиди SiO<sub>2</sub> та Ba<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (вони здатні заповнювати безперервні тримірні хаотично розміщені мережі при охолодженні розплавів скла). Оксиди Na<sub>2</sub>O та K<sub>2</sub>O зветься модифікуючими, бо їх дія спрямована на розрихлення мережі скла, а не на її заповнення (рис. 1). Оксид Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> вважається проміжним оксидом, бо сам він не утворює скло, але бере участь в утворенні мережі скла (рис. 2). Хімічний вміст порошку скла бою не містить домішок Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> та CaO, отже, стан системи склоутворення буде визначатися сумісними даними піску та порошку скла бою.

Коротко пояснимо роль модифікуючого оксиду Na<sub>2</sub>O. При його введенні в кварцове скло утворюється натрієвосилікатне скло, що супроводжується структурними змінами, зображеними на рис. 1.

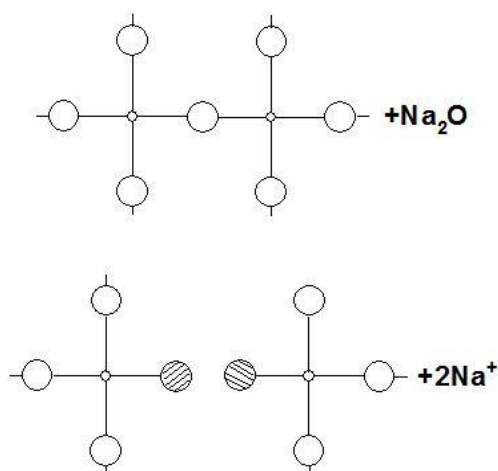


Рис. 1. Реакція між оксидом натрію і тетраедрами кремнезему (для спрощення подано двомірне зображення груп SiO<sub>4</sub>, бо в склі вони мають форму тетраедрів)

Замість місточки із іонів кисню, що з'єднує два тетраедри SiO<sub>4</sub>, з'являються два нез'язаних атоми кисню, один з яких належить оксиду натрію. Отже, ефект впровадження Na<sub>2</sub>O зводиться до утворення порожнини в суцільній структурній мережі. Іони натрію розташовуються в «дірках» або міжвузлях неупорядкованої мережі. Наслідок введення оксиду натрію – зміна властивостей, в тому числі зниження в'язкості скла та збільшення коефіцієнту теплового розширення. Ці два ефекти приписують послабленню зв'язків в структурній мережі скла.

На прикладі Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> розглянемо роль проміжних оксидів. Тетраедричні групи AlO<sub>4</sub> здатні заміщувати тетраедри SiO<sub>4</sub> в силікатній решітці, розміщуючись так, як зображено на рис. 2.

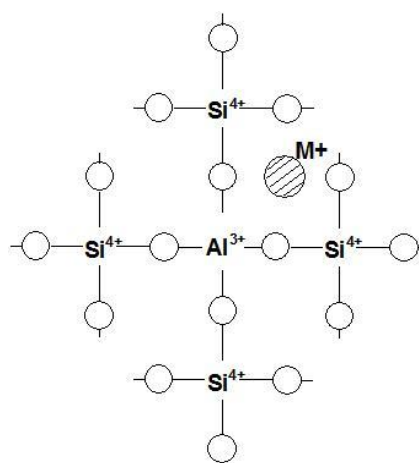


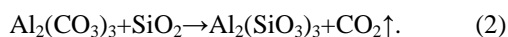
Рис. 2. Алюміній в силікатній мережі (спрощений показ структури, оскільки групи AlO<sub>4</sub> і SiO<sub>4</sub> тетраедричної конфігурації в дійсності тримірні)

Оскільки заряд Al на одиницю менший позитивного заряду кремнію, необхідний для електростатичної рівноваги іон постачається іонами натрію. Вважається, що оксид алюмінію входить в неупоряд-

дковану мережу скла так, як і позитивні іони, необхідні для компенсації надлишку негативного заряду в тетраедрів  $AlO_4$ , які розташовуються в міжвузлях мережі.

Оксиди  $SiO_2$  та  $Ba_2O_3$  утворюють в кристалічному стані чотиригранники, що вважається критерієм здатності до склоутворення [10].

Висока температура в скловарних печах гарантує виконання реакцій, наприклад:



Утворення оксиду вуглецю сприяє енергійному перемішуванню розплаву та підвищенню швидкості реакцій. За цим досягається повне розчинення та сплавлення матеріалів. Далі скло охолоджують.

Формування склокерамічної плитки виконується багатьма способами, серед яких пресування, що застосовували в дослідженнях.

Відомо, що термообробка – процес перетворення скла в мікророзкристалічну кераміку. Особливу увагу при виготовленні склокераміки приділяють її механічній міцності, а оскільки їй сприяє тонкозернистість мікроструктури, то завдання полягає в отриманні склокераміки, що містить дрібні кристали (зародки), які міцно зчеплені один з одним. Ця стадія утворення зародків вимагає контролю за ростом температури, витримкою постійної температури. В досліджуваному процесі при виготовленні зразків склокерамічної плитки довелося виконати десятки дослідів для забезпечення оптимальної температури, швидкості її зміни, тривалості витримки тощо.

Після утворення зародків температуру підвищують для забезпечення росту кристалів. Доля склофази з підвищенням температури також зменшується. Витримкою температури (в досліджуваному процесі протягом 0,7 годин, рис. 3) можливе досягнення майже повної кристалізації.

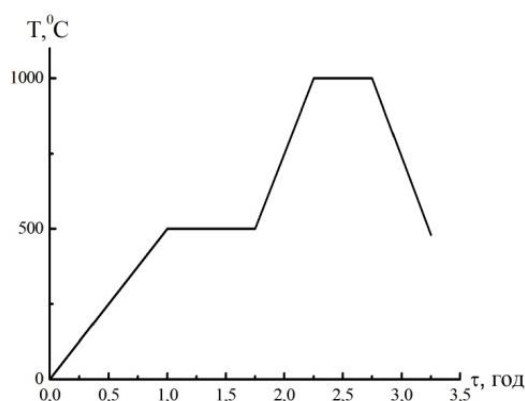


Рис. 3. Режим термообробки скла за експериментом

Перша стадія термообробки, як видно з рисунка 3, охоплює нагрівання скла до 500 °C. Швидкість нагрівання на цій стадії не критична для кристалізації. Для таких тонких плиток, як в досліджуваних зразках, практикується нагрівання із швидкістю

5–10 град/хв. Швидкість росту температури на стадії кристалізації визначається температурою ліквідуса переважаючої кристалічної фази, оскільки при вищій температурі дана фаза буде знову розчинятися. В досліджуваному процесі випалу склокерамічної плитки температура кристалізація становила 950 °C.



Рис. 4. Виготовлені дослідні зразки склокерамічної плитки

Виготовлені зразки склокерамічної плитки піддавали випробуванням на хімічну стійкість оскільки систематичних даних по дослідженню опору склокераміки дії води та хімічних речовин мало. Вважається, що хімічна дія на склокераміку перед усім впливає на склофазу, що вимагає мінімального залишку склофази при термообробці, чим менша дія склофази збагаченої оксидами лужних металів, тим вища її хімічна стійкість. Випробування на зменшення ваги зразка виготовленої для експерименту склокерамічної плитки в результаті двох годинного кип'ятіння показали стійкість зразка до такого випробування. Для перевірки стійкості зразків склокераміки до дії хімічно активних речовин випробували зразки на вплив 36 % соляної кислоти при температурі вище 100 °C протягом 12 годин. Дослідження змін зразка спостерігали під лабораторним мікроскопом Біомед 1, вони показали відсутність помітного ушкодження. Випробування зразка склокераміки на зносостійкість та опір тертю виконували на установці, в якій алмазним диском шліфували поверхню зразка. Зважування пилинок з тертої поверхні свідчили за незначну зміну об'єму та стійкість зразка склокераміки. Проведені експериментальні випробування підтверджують цінні властивості склокерамічних матеріалів, що завдячують, в основному, їх дрібнозернистості, майже однакової величині мікророзкристалів та їх неупорядкованому розміщенню в усьому об'ємі матеріалу.

## 6. Висновки

Оптимальний вміст екранного скла в шихті для виготовлення склокерамічної плитки складає 50 %. Максимальна температура випалу сягає 950 °C, що приблизно на 250 °C нижче мінімальної температури випалу з шихтою без скла. Виготовлені зразки склокерамічної плитки свідчать про доцільність енерго- та ресурсозберігаючої технології утилізації

екранного склобою відпрацьованих телевізійних кінескопів та комп'ютерних моніторів у виробництві склокерамічної плитки [11, 12].

#### Література

1. Маковецька, Ю. М. Вторинне ресурсокористування в Україні і регіональні аспекти його становлення [Текст] / Ю. М. Маковецька // Регіональна економіка. – 2011. – № 3. – С. 172–180.
2. Жуховецкий, В. Б. Утилизация твердых бытовых отходов [Текст] / В. Б. Жуховецкий, В. Я. Меллер, А. Н. Туггов. – Дн-ск.: «Свидлер А. Л.», 2011. – 544 с.
3. Степанчикова, Н. Г. Отечественный опыт переработки стеклобыя [Текст] / Н. Г. Степанчикова, А. В. Деревяно // Энергия: экономика, техника, экология. – 2010. – № 3. – С. 42–46.
4. Степанчикова, Н. Г. Зарубежный опыт сбора и переработки стеклобыя [Текст] / Н. Г. Степанчикова, А. В. Деревяно // Энергия: экономика, техника, экология. – 2010. – № 1. – С. 51–54.
5. Monchamp, A. Cathode ray tube manufacturing and recycling: analysis of industry survey [Text]: conference / A. Monchamp, H. Evans, J. Nardone, S. Wood, E. Proch, T. Wagner. – Proceedings of the 2001 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment. 2001 IEEE ISEE (Cat. No.01CH37190). – Denver, 2001. – P. 41–51. doi: 10.1109/isee.2001.924500
6. Seo, Y.-C. A Study on Recycling of CRT Glass Waste. Vol. 12 [Text]: conference / Y.-C. Seo, S.-J. Cho, J.-S. Lee, B.-S. Kim, C. Oh. – Singapore, 2011. – P. 237–241. – Available at: <http://www.ipcbee.com/vol12/46-C20039.pdf>
7. New approach to cathode ray tube (CRT) recycling [Text]. – Report prepared by icer for DTI. – 2013. – P. 1–34.
8. Brigden, K. Chemical contamination at e-waste recycling and disposal sites in Accra and Korforidua, Ghana [Text] / K. Brigden, I. Labunska, D. Santillo, P. Johnston // Grenpeace reserch laboratories technical. – 2008. – P. 123.
9. Zavgorodnyi, N. I. Study on recycling of CRT glass wast [Text]: conference / N. I. Zavgorodnyi. – Engineer of 3<sup>rd</sup> Milenium Students and post graduate students, 2013. – P. 88.
10. Завгородня, Н. І. Утилізація скла отработаних телевізійних кінескопів і комп'ютерних моніторів із твердих побутових відходів в неорганічні матеріали [Текст] / Н. І. Завгородня, А. А. Пивоваров // Вопросы химии и химической технологии. – 2013. – № 3. – С. 179–182.
11. Завгородня, Н. І. Дослідження структури відновленого сульфіді цинку із відпрацьованих катодоліумінофо [Текст] / Н. І. Завгородня // Технологический аудит и резервы производства. – 2014. – Т. 6, № 5 (20). – С. 4–7. doi: 10.15587/2312-8372.2014.31883

12. Завгородня, Н. І. Відновлення сульфіді цинку із відпрацьованих телевізійних кінескопів та комп'ютерних моніторів [Текст] / Н. І. Завгородня, О. А. Пивоваров // Праці Одеського політехнічного університету. – 2015. – № 1 (45). – С. 152–158.

#### References

1. Makovetska, Yu. M. (2011). Vtorunne resursokorystuyvannia v Ukraini I regionalni aspektu iogo stanovlenia. Regionalna ekonomika, 3, 172–180.
2. Guhovetskui, V. B., Meller, V. Ya., Tygov, A. N. (2011). Ytilizacuya tverduh butovuh othodov. Dnepropetrovsk: Sviler A. L., 544.
3. Stepanchikova, N. G., Derevianko, A. V. (2010). Otechestvinu oput pererabotki stekloboya. Ekologiya: Energiya: ekonomika, tehnika, ekologiya, 3, 42–46.
4. Stepanchikova, N. G., Derevianko, A. V. (2010). Zarubegnui oput pererabotki stekloboya. Ekologiya: Energiya: ekonomika, tehnika, ekologiya, 1, 51–54.
5. Monchamp, A., Evans, H., Nardone, J., Wood, S., Proch, E., Wagner, T. (2001). Cathode ray tube manufacturing and recycling: analysis of industry survey. Proceedings of the 2001 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment. 2001 IEEE ISEE (Cat. No.01CH37190). Denver, 41–51. doi: 10.1109/isee.2001.924500
6. Seo, Y.-C., Cho, S.-J., Lee, J.-S., Kim, B.-S., Oh, C. (2011). A Study on Recycling of CRT Glass Waste. Vol. 12. Singapore, 237–241. Available at: <http://www.ipcbee.com/vol12/46-C20039.pdf>
7. New approach to cathode ray tube (CRT) recycling (2013). Report prepared by icer for DTI, 1–34.
8. Brigden, K., Labunska, I., Santillo, D., Johnston, P. (2008). Chemical contamination at e-waste recycling and disposal sites in Accra and Korforidua, Ghana. Grenpeace reserch laboratories technical, 123.
9. Zagorodnjaja, N. I. (2013). Study on recycling of CRT glass wast. Engineer of 3<sup>rd</sup> Milenium Students and post graduate students, 88.
10. Zagorodnjaja, N. I., Pivovarov, A. A. (2013). Ytilizaciya stekla otrabotanih televizionnuh kineskopov i kompiyternuh monitorov iz tverduh butovuh othodov v neorganicheskie materiale. Voprosu himii i himicheskoj tehnologii, 3, 179–182.
11. Zagorodnjaja, N. I. (2014). Structure investigation of the recovered zinc sulfide from fulfilled electron-excited phosphorus. Technology audit and production reserves, 6/5 (20), 4–7. doi: 10.15587/2312-8372.2014.31883
12. Zagorodnjaja, N. I., Pivovarov, A. A. (2015). Vidnovlenia ZnS iz vidpratovanuh televiziinuh kineskopiv ta kompiyternuh monitoriv. Pratsi odeskogo politehnicnogo univversitetu, 1 (45), 152–158.

*Рекомендовано до публікації д-р техн. наук Пивоваров О. А.  
Дата надходження рукопису 17.12.2015*

**Завгородня Наталія Ігорівна**, аспірант, кафедра технології неорганічних речовин та екології, Український державний хіміко-технологічний університет, пр. Гагаріна, 8, м. Дніпропетровськ, Україна, 49005  
E-mail: nzavgorodnia@i.ua