

УДК 666.75

Казимиренко Ю. О.,

*u.a.kazimirenko@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-7120-8226, Researcher ID: U-2788-2017,
доктор технічних наук, доцент, професор кафедри матеріалознавства і технології металів
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв*

Дрозд О. В.,

*oksana drozd183@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-0135-8659, Researcher ID: AA-1138-2022,
кандидат технічних наук, доцент, декан енерготехнічного факультету
Херсонського навчально-наукового інституту
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон*

СИСТЕМНО-АНАЛІТИЧНИЙ ПІДХІД ДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕЦИКЛІНГУ ВИРОБНИЧИХ СКЛЯНИХ ВІДХОДІВ

Анотація. Стаття присвячена вирішенню актуальної науково-практичної проблеми впровадження безвідходних технологій на виробничих підприємствах, які застосовують для виготовлення своєї продукції листове скло. Проблемними питаннями роботи з листовим склом на підприємствах виробництва світлопрозорих конструкцій (вікон, зашкленних дверей, світлопрозорих фасадів вітражів тощо) є великі витрати праці та часу на сортування, відвантаження та транспортування скляних обрізків і бою до місць їх переробки. Задля підвищення ефективності використання відходів пропонується застосування технологій рециклінгу – переробки скляних відходів у корисну продукцію. Для реалізації поставленої мети використано системно-аналітичний підхід з застосуванням інформаційно-довідникової системи. За ідентифікаційні ознаки системи прийнято цільове призначення, хімічний склад скла, тип структури, теплова історія, вартісні показники. Запропонована технологічна схема, яка ґрунтується на етапах експертизи скляних відходів, здрібнення їх на порошок з наступним спіканням його на піноскло.

Процес рециклінгу скляного бою являє собою складну систему, яку досліджено за допомогою побудови причинно-наслідкової діаграми Ісікави, де за інформативний критерій обрано коефіцієнт його використання. Виявлена картина демонструє можливість підвищення ефективності переробки скляних відходів на новий матеріал – піноскло шляхом скорочення енерговитрат на термообробку листового скла після розкрою та різання, зменшення енергії на його подрібнення через низьку мікротвердість скляного порошку і розширення можливості підприємств за рахунок створення на їх базі додаткових цехів з виробництва піноскла з метою його подальшого продажу або застосування для утеплення службових приміщень. Техніко-економічне обґрунтування підкріплено експериментальними результатами досліджень морфологічних і фізико-механічних характеристик скляних порошків та аналізу фізико-хімічних процесів виробничого циклу. Одержані результати спрямовані на скорочення обсягів виробничих відходів та вирішення проблеми їх утилізації.

Ключові слова: рециклінг скляних відходів, виробництво, порошок, здрібнення, спікання, ефективність, системний аналіз.

Kazymyrenko Yu. O.,

*u.a.kazimirenko@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7120-8226>,
Researcher ID: U-2788-2017, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor
Associate Professor Department of Materials Science and Technology Dept
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolajev*

Drozd O. V.,

*oksana drozd183@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-0135-8659, Researcher ID: AA-1138-2022,
Associate Professor, Dean of Power Engineering Faculty, Kherson Educational-Scientific Institute
of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson*

SYSTEM-ANALYTICAL APPROACH TO INCREASE THE EFFICIENCY OF GLASS WASTE RECYCLING

Abstract. The article is devoted to the solution of urgent scientific and practical problem of implementation of non-waste technology in production enterprises, which use sheet glass for manufacturing products.

The problematic issues of handling sheet glass in factories producing translucent structures (windows, glazed doors, translucent facades of stained glass, etc.) are high labor costs and time for sorting, shipment and transportation of glass scraps and breakage to the places of their processing. To increase the efficiency of waste utilization, we propose the use of recycling technologies – recycling glass waste into useful products. The system-analytical approach with the use of the information and reference system was used to implement the objectives. The target purposes, chemical composition of glasses, type of structure, thermal history, and cost indicators are taken as identification features of the system. The technological scheme, based on the stages of examination of glass waste, grinding it into powder followed by sintering it into foam glass is proposed.

The process of glass breakage recycling is a complex system, which is investigated with the help of the constructed Ishikawa cause-effect diagram, where the coefficient of its use is chosen as an informative criterion. The revealed picture shows the possibility of increasing the efficiency of glass waste recycling into a new material – foam glass by reducing energy consumption for thermal treatment of sheet glass after cutting, reducing the energy of grinding due to the low microhardness of glass powder and expanding the capacity of enterprises through establishing the additional fabrication shops to produce foam glass for its further sale or insulation of the office premises. The investigation is supported by experimental results of studies of morphological and physical-mechanical characteristics of glass powders and analysis of physical-chemical processes of the production cycle. The obtained results are aimed at reducing the volume of production waste and solving the problem of its disposal.

Key words: glass waste recycling, production, powder, grinding, sintering, efficiency, system analysis.

JEL Classification: O32

DOI

Постановка проблеми. Впровадження технологій енергозбереження включає у себе розширення українського ринку світлопрозорих конструкцій, які забезпечують надійну шумо-і теплоізоляцію та виконують функцію несучих конструкцій «скляних домів», офісних приміщень, зимових садів, сонцезахисних систем, огорожень зі скла [1]. Ефективність їх застосування та проблемні питання розглянуті авторами робіт [1–3]. В залежності від призначення площа скління може займати від 14,3...18,3% до 100% площі фасадів [4, с. 9–17]. Індивідуальність замовлень та спадок вітчизняного скляного виробництва в умовах економічної кризи [5] обумовлює поставки скла із закордонних виробництв. Утворені під час технологічного циклу виробів відходи зазнають подальшого транспортування у місця переробки, на що витрачаються власні кошти підприємства. Одним із шляхів вирішення проблемних питань поводження з виробничими відходами з метою підвищення ефективності їх використання є розробка та впровадження технологій рециклінгу, тобто переробки відходів на корисну продукцію [6, с. 158–185].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Економічна ефективність рециклінгу скляних відходів обумовлена дефіцитом вітчизняної сировини (різкозернистого кварцового піску, доломіту, соди, крейди, гіпсу, поташі тощо) і високими енерговитратами на процеси скловаріння [7]. За даними роботи [8, р. 80–82], українські заводи використовують близько 35...40% склобою, що

складатиме близько 350...400 тис. тон склобою на рік. Проте 10% з них становлять внутрішні виробничі відходи, решта транспортується із Білорусі ($\approx 63\%$ від всього імпорту), Угорщини ($\approx 21\%$), Литви ($\approx 13\%$), Молдови ($\approx 1,5\%$). Тобто скляний бій являє собою стратегічно важливу сировинну базу, застосування якої приводить до:

1) зменшення викидів CO_2 під час плавлення вихідних компонентів при скловарінні за загальноприйнятою технологією [7];

2) зниження температурних режимів обладнання за рахунок суттєвої різниці у діапазонах варіння скла з вихідних шихтових матеріалів та розм'якшенням скляного бою;

3) можливості розширення функціонального призначення скла за рахунок додавання різноманітних відходів, зокрема листового, забарвленого скла, бою тари і посудних виробів тощо.

Проблемам рециклінгу виробничих відходів присвячено чимало наукових праць, у яких розглядаються правові, економічні, екологічні, логістичні аспекти. Так, в роботі [6, с. 158–185] автори будують концепцію взаємодії об'єднаних територіальних громад з учасниками процесу рециклінгу побутових відходів, роблять порівняльний аналіз відмінних рис вторинних ресурсів та відходів. В роботі [9, с. 41–45] пропонується основна схема сортування і утилізації скляних відходів, яка включає у себе сортування виробів за кольором, подрібнення, селективне або централізоване накопичення. При цьому великою проблемою є різний хімічний склад зібраного

скла, що не підходить до виготовлення світлої склотари та багатьох інших виробів. Проте це не є недоліком для підприємств світлопрозорих конструкцій, для виготовлення яких більшість підприємств застосовують термopolіроване скло (флот-скло), що виробляється за відомими класичними технологіями [10]. Враховуючи масштабність скління та обсяги утворення виробничих відходів, виникає необхідність зв'язку наукових розробок в області неорганічного матеріалознавства з бізнес-проектами. Теоретичними і практичними передумовами є:

1) досвід авторів роботи [11, с. 222–225] щодо виготовлення порошку із скляних відходів, який далі використовується у виробництві ізоляційної продукції (піноскла, скловати тощо), керамічної сантехніки, цегли, у ландшафтному дизайні, виготовленні композиційних матеріалів, зокрема абразивів;

2) дослідження процесів структуроутворення піноскла з використанням у складі шихти значної кількості (85%) бою віконного скла [12, с. 79–85];

3) власний доробок авторів статті з технології виготовлення скляних порошоків шляхом переробки бою кришталевого посуду та його використання для композиційних матеріалів і покриттів [13, с. 180–185].

На підставі виконаного аналізу слід зробити висновок, що підвищити ефективність рециклінгу скляних відходів на виробничих підприємствах можливо в результаті місцевої переробки на новий матеріал – піноскло з наступним його місцевим застосуванням або продажем. Розробка технологічного циклу з реалізацією у ньому існуючого виробничого обладнання вимагатиме застосування системно-аналітичного підходу.

Мета роботи – за допомогою системно-аналітичного підходу визначити шляхи підвищення ефективності використання скляних відходів на підприємствах з виробництва світлопрозорих конструкцій.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Методологія досліджень полягатиме у формуванні цілісної системи ідентифікаційних ознак, аналітичному підборі інструментарію досліджень, систематизації інформації з формуванням причинно-наслідкових зв'язків та використанні електронних ресурсів.

В основу теоретичного обґрунтування процесу покладено уявлення про рециклінг скляних виробничих відходів як про складну систему з аналізом фізико-хімічних процесів на всіх технологічних етапах. Сутність флоат-методу одержання скла полягає у горизонтальному формуванні скляної маси на розплаві металу (зокрема

олова або титану), що виключає необхідність у його шліфуванні та поліруванні. Під час охолодження утворюється поверхневий тріщинуватий шар, який змінюється при наступному обробленні. В роботі [14, с. 109–114] автором розкрито переваги методу іонного обміну, який полягає у витісненні іонів Na іонами K і має поширене використання для стекол товщиною 2-3 мм. Проте, незважаючи на те, що іонно-обмінне скло матиме кращі оптичні якості ніж термічно оброблене, величина залишкових напружень у них є значно більшою. На підприємствах з виробництва світлопрозорих конструкцій скло зазнає розкрою за певними розмірами, випалу, різного виду механічної обробки лазерними інструментами. З'єднання скла у багатошарові елементи відбувається за допомогою адгезійних шарів з полівінілбутиральної (PVD), етил-вініл-ацетатної (EVA), поліуретанової плівки або заливальних полімерів, які додають пакетам опору до руйнування в умовах вібрацій або силового навантаження. Виходячи з вищевикладеного, слід виділити наступні ідентифікаційні ознаки, за якими буде відбуватися процес рециклінгу скляних відходів, це: цільове призначення майбутньої продукції, хімічний склад скла, тип структури, теплова історія і вартісні показники (табл. 1).

Таблиця 1

Ідентифікаційні ознаки

Ідентифікаційні ознаки	Приклади
Цільове призначення піноскла	Теплова ізоляція для виробничих цехів з метою скорочення витрат на опалення Продаж піноскла для подальшого його застосування у будівництві, рефрижерації, суднобудуванні
Хімічний склад скла	Скло систем $R_2O-PbO-SiO_2$, $SiO_2-Al_2O_3-Li_2O$, $SiO_2-TiO_2-Al_2O_3-B_2O_3$, модифіковані TiO_2 , SnO_2 , Mn_2O_3 , CuO , CoO
Тип структури	Аморфна, з наявністю одиночних кристалів, з поверхневим закристалізованим мікрошаром
Теплова історія	Випалене, інтенсивно загартоване Застосовано менш інтенсивні режими термообробки або іонний обмін, термічна кристалізація
Вартісні показники	Можливість знизити $\approx$ на 50% собівартості за рахунок використання місцевої сировинної бази

Методологія системного підходу для вирішення економічних задач у виробничому секторі, яка висвітлена в роботі [15], дає змогу розглядати процес підвищення ефективності рециклінгу як цілісної множини елементів зі встановленням зв'язку між ними та аналізом фізико-хімічних процесів на кожному технологічному етапі. Експериментальна частина досліджень полягатиме у діагностиці скляних уламків за виділеними ідентифікаційними ознаками, одержанні пробної партії порошку, підборі технологічних чинників виготовлення піноскла. Для подальшої систематизації одержаних під час досліджень даних використано авторський електронний каталог композиційних і неметалічних матеріалів [16, с. 19–24]. Система містить каталоги документально-фактографічного типу: «*Component Data*» (містить інформацію про порошки, волокна, наповнювачі); «*Non-metal Data*» (зосереджені дані про неметалеві матеріали); «*Composite Data*» (містить інформацію про композиційні матеріали); «*Protective Coatings Data*» (призначено для обробки та зберігання даних щодо пошкодження матеріалів в екстремальних умовах експлуатації). Поряд з довідниковими даними до каталогу зано-

сяться експериментальні результати та цифрові мікрофотографії, які підкріплені описом особливостей структури і властивостей та прикладами застосування.

Для дослідження виробничих можливостей та чинників перетворення скляних відходів на піноскло застосовано графічний метод побудови діаграми Ісікави, за допомогою якого можливо з'ясувати причинно-наслідкові зв'язки процесу рециклінгу як складної системи [15]. За інформаційний критерій обрано коефіцієнт використання скляних відходів – співвідношення обсягу переробленого бою до загального обсягу відбракованого, уламкового, обрізного скла. У графічному виконанні діаграма матиме вигляд скелету риби (рис. 1). Фактори, які загострюють проблему, позначені великими стрілками з нахилом вправо і знаходяться знизу головної стрілки – мети проекту; фактори, що нейтралізують проблему – з нахилом вліво, тобто зверху головної стрілки. Проблема другого порядку є «дрібні кісточки».

Побудована діаграма дає комплексне уявлення про реалізацію на підприємствах пілотних проєктів з рециклінгу скляних відходів. Так, матеріально-технічна проблема не можлива без ство-



Рис. 1. Причинно-наслідкова діаграма Ісікави

рення дослідницької лабораторії та обладнанням додаткового цеху з виготовлення піноскла. Для цього необхідно розглянути аспекти взаємодії з постачальниками та ринком збуту, а також вирішити питання з модернізації та амортизації обладнання, що також є невід'ємною частиною розширення виробництва. Нейтралізувати витрати на поставлені проблемні питання можливо через впровадження енергоефективних заходів за рахунок зниження температурно-часових діапазонів та зменшення потужностей обладнання. Застосування виготовлення на виробництві піноскла доцільно використовувати для утеплення приміщень, що також є невід'ємною частиною підвищення енергоефективності. Позитивними факторами для реалізації визначених заходів є забезпеченість виробничого підприємства висококваліфікованими кадрами, що також допоможе впровадити безвідходне виробництво.

Конкурентоспроможність виробничої технології оцінена за допомогою матричного методу

стратегічного аналізу – Swot-аналізу, який надає оцінку сильним та слабким сторонам проекту рециклінгу та дозволить виявити загрози та розкрити можливості (табл. 2).

З позицій системного аналізу фізико-хімічний процес рециклінгу можна розглядати як окремо процес структуроутворення та кінетичний процес, який вимагатиме технологічної підтримки (табл. 3).

Спочатку скляні відходи зазнають сортування за призначенням (транспортне, листове тощо), галуззю застосування (технічне, будівельне, побутове), видом декорування та додаткової обробки (з піскоструменною обробкою, лазурним гравіруванням, затемнені, матові, травлені тощо). З кожного різновиду для досліджень і систематизації інформації обираються зразки-свідки (рис. 2а). Порошок одержується механічним дробленням уламків на дробарках до крупності 10-20 мм, а потім здрібнення до дисперсності 50...100 мкм, для чого можна

Таблиця 2

Ситуаційний аналіз технології рециклінгу виробничих скляних відходів

Сильні сторони (Strengths)	Слабкі сторони (Weakness)
1. Наявність виробничих потужностей та висококваліфікованих кадрів 2. Використання та повне завантаження виробничого обладнання 3. Формування цін на продукцію з урахуванням виробничих відходів 4. Скорочення видатків на транспортування скляного бою до місць переробки	1. Зростання видатків на улаштування додаткового цеху для виготовлення піноскла 2. Зростання видатків на організацію обладнання дослідницької лабораторії 3. Придбання обладнання для подрібнення скляних відходів 4. Можливість зростання собівартості продукції
Можливості розвитку (Opportunities)	Загрози (Threats)
1. Безвідходне виробництво 2. Розширення ринку збуту продукції за рахунок виробництва піноскла 3. Скорочення витрат на опалення за рахунок теплоізолювання цехів власним продуктом 4. Розробка власних антикризових заходів	1. Зростання цін на енергоносії 2. Поява нових конкурентів 3. Зростання цін на вихідну продукцію 4. Прибутковість технології виготовлення піноскла

Таблиця 3

Рециклінг виробничих скляних відходів як фізико-хімічний процес

Процеси	Теоретичні передумови, підходи та заходи
Процеси структуроутворення	1. Збільшення анізотропії та питомої поверхні порошку 2. Підвищення реакційної здатності при спіканні 3. Контактне припікання частинок 4. Термічна нестабільність скляної піни
Кінетичний процес	1. Реологічний підхід до спікання на піноскло за рахунок утворення та збільшення склофази при більш низьких (≈ 200 °C) температурах 2. Термодформаційний підхід до досліджень процесів об'ємного та лінійного зростання 3. Інтенсифікація процесу через хімічну активацію спікання за рахунок застосування устаткування з термічно необробленого графіту
Технологічна підтримка	1. Забезпеченість дробарками і млинами для одержання порошоків 2. Модернізація або закупівля печей для виготовлення виробів у вигляді блоків 3. Вирішення проблеми зменшення пилоподібних викидів

застосовувати кульові млини барабанного типу. Режим розмелу обирається в залежності від теплової історії вихідної сировини, морфологічних характеристик та мікротвердості. Так, як приклад, на рис. 2 наведено мікрофотографію порошку, зроблену за допомогою оптичного мікроскопа БІОЛАМ-И. Як показали експериментальні вимірювання, мікротвердість порошку уламкової форми, одержаного зі скляного бою у стані постачання приблизно на 30% нижче ніж у порошок, одержаного з загартованого скла. Температурний інтервал розм'якшення, визначений за методикою [13, с. 180-185], складатиме 500...600 °С, що призводить до інтенсивності утворення склофази під час спікання скляного порошку з газотворювачем (графітовим порошком). Формування пористого каркасу піноскла (рис. 2в) залежить від об'ємної долі порошку графіту та температурно-часових параметрів, які підбираються експериментально. Інтенсифікувати процес можна шляхом застосування герметично закритої форми, виготовленої з термічно необробленого графіту (наприклад, марки МПГ-6), що зменшить втрати CO₂, проте сприятиме дорожчання технології.

До недоліків технології слід віднести велику кількість пилоподібних викидів під час подрібнення порошків, що вимагатиме вживанню додаткових заходів з охорони праці. Проблемними залишаються питання впливу модифікації флоат-скла на технологію рециклінгу, що вимагатиме від авторів подальших теоретичних і експериментальних досліджень у тісній співпраці з виробництвом.

Одержані результати спрямовано на вирішення актуальної науково-практичної проблеми впровадження безвідходних технологій

на виробничих підприємствах, які застосовують для своєї продукції листове скло, зокрема з виготовлення світлопрозорих конструкцій. За допомогою системно-аналітичного підходу запропоновано теоретично-технологічні передумови для підвищення ефективності рециклінгу виробничих скляних відходів шляхом їх переробки на корисну продукцію – піноскло.

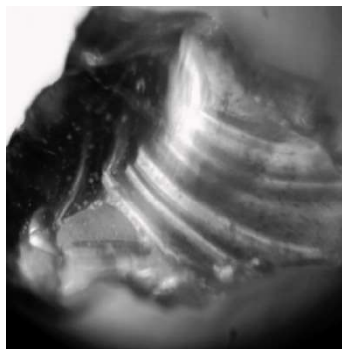
Висновки і перспективи подальших досліджень

1. Процес рециклінгу скляного бою розглянуто як складну систему, для чого виділено ідентифікаційні ознаки, для систематизації яких застосовано авторський електронний каталог композиційних і неметалевих матеріалів.

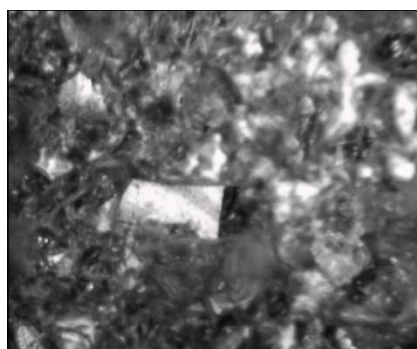
2. За інформаційний критерій підвищення ефективності рециклінгу обрано коефіцієнт використання скляних відходів, шляхи підвищення якого проаналізовано за допомогою побудови діаграми Ісікави, яка у графічному вигляді показує взаємний вплив організаційно-технологічних факторів і дає комплексне уявлення про реалізацію на підприємстві пілотного проєкту.

3. Запропонована технологічна схема, яка ґрунтується на етапах експертизи скляних відходів, подрібнення їх на порошок з наступним спіканням його на піноскло. Фізико-хімічні процеси розглянуті як процеси структуроутворення, кінетичні процеси з розробкою технологічних заходів, складених на підставі експериментальних досліджень морфологічних і фізико-механічних характеристик одержаних скляних порошків.

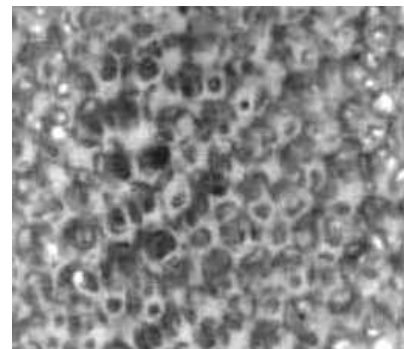
Перспективи подальших досліджень пов'язані з апробацією запропонованої технології рециклінгу скляних відходів на виробництві та експериментальними випробуваннями зразків піноскла.



а



б



в

Рис. 2. Оптичні мікрофотографії:
а – скляних уламків (×350); б – одержаного порошку (×350); в – піноскла (1:1)

ЛІТЕРАТУРА:

1. Філіппова С.В., Окландер Т.О. Тенденції розвитку українського ринку світлопрозорих конструкцій. *Економіка: реалії часу*. 2013. 4(9). URL: <https://economics.net.ua/files/archive/2013/No4/64-74.pdf> (дата звернення: 13.02.2022).
2. Burmaka V., Tarasenko M., Kozak K., Khomyshyn V. Impact of the translucent structures of exterior wall envelope orientation on the energy balance of the premises. *Вісник Тернопільського національного технічного університету*. 2019. № 94(2). С. 111–122.
3. Пахольук О.А., Чапук О.С., Дячук Ю.І. Дослідження теплового балансу світлопрозорих конструкцій. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. 2020. № 14. С. 115–125.
4. Vitvitskaya E.V., Tarasevich D.V. Changes in lighting standards and their influence on the architecture and energy efficiency of modern residential buildings. *Вісник ОДБА*. 2020. № 81. С. 9–17.
5. Бардаш М.С., Подольна В.В., Писанець К.К. Аналіз використання енергозберігаючих віконних систем на українському ринку скла. *Ефективна економіка*. 2015. № 12. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua> (дата звернення: 13.02.2022).
6. Левченко Н.М., Жовнірчик Я.Ф. Державне регулювання розвитку рециклінгу побутових відходів в умовах екологізації економіки. *Publ. upr. reg. rozvit.* 2020. № 7. С. 158–185.
7. Маневич В.Е., Субботин К.Ю., Ефременов В.В. Сырьевые материалы, шихта и стекловарение : монография. Стройматериалы, 2008. 223 с.
8. Ukraine Glass industry maintains sustainable operation. *Glass Worldwide*. 10. 2020. P. 80–82.
9. Гурець Л.Л., Котолевець А.С., Котова І.І. Зниження рівня техногенного навантаження на довкілля під час використання відходів скла. *Екологічні науки*. 2018. № 4(23). С. 41–45.
10. Гулоян Ю.А. Декоративная обработка стекла и стеклоизделий. Москва : Высшая школа, 1989. 223 с.
11. Чупрова Л.В., Мишурина О.А. Экологические и экономические аспекты утилизации отходов стекла. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2016. № 11-12. С. 222–225.
12. Кольцова Я.І., Нікітін С.В., Петух С.І. Вплив температурно-часових режимів випалу на структуру пористих склокристалічних матеріалів. *Питання хімії та хімічної технології*. 2018. № 2. С. 79–85.
13. Казимиренко Ю.О., Дрозд О.В., Жарський Є.І. Технологічні особливості і фізико-хімічні процеси переробки кришталевих стекол на порошок. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського*. 2020. Т. 31(70). 4. С. 180–185.

14. Щабетя О.А. Міцність скла, модифікованого методами на основі іонного обміну та травлення. *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії*. 2019. 1. С. 109–114.

15. Прокопчук Ю.О. та ін. Системи прийняття рішень в економіці, техніці та організаційних сферах: монографія. Дніпропетровськ-Павлоград : АРТ-Синтез-Т, 2014. Т. 1. 456 с.

16. Фаріонова Т.А., Казимиренко Ю.А., Казимиренко С.А. Разработка электронного каталога композиционных материалов для судостроения и судоремонта. *Proceedings of Azerbaijan State Marine Academy*. 2018. 2. С. 19–24.

REFERENCES:

1. Filippova S. V., Oklander T.O. Tendentsii rozvytku ukrainskoho rynku svitloprozorykh konstruksii. *Ekonomika: realii chasu*. 2013. 4(9). URL: <https://economics.net.ua/files/archive/2013/No4/64-74.pdf> (data zvernennia 13.02.2022).
2. Burmaka V., Tarasenko M., Kozak K., Khomyshyn V. Impact of the translucent structures of exterior wall envelope orientation on the energy balance of the premises. *Visnyk Ternopilskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu*. 2019. 94 (2), S. 111–122.
3. Pakholiuk O. A., Chapiuk O. S., Diachuk Yu. I. Doslidzhennia teplovoho balansu svitloprozorykh konstruksii. *Suchasni tekhnologii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi*. 2020. 14. S. 115–125.
4. Vitvitskaya E. V., Tarasevich D. V. Changes in lighting standards and their influence on the architecture and energy efficiency of modern residential buildings. *Visnyk ODBA*. 2020. 81. S. 9–17.
5. Bardash M. S., Podolna V. V., Pysanets K. K. Analiz vykorystannia enerhozberihaiuchykh vikonnykh system na ukrainskomu rynku скла. *Efektivna ekonomika*. 2015. 12. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua> (data zvernennia 13.02.2022).
6. Levchenko N. M., Zhovnirchik Ya. F. Derzhavne rehuliuвання rozvytku retsyklinhu pobutovykh vidkhodiv v umovakh ekolohizatsii ekonomiky. *Publ. upr. reg. rozvit.* 2020. 7. S. 158–185.
7. Manevych V. E., Subbotyn K. Yu., Efremenkova V. V. Сырьевые материалы, shykhta y steklovarenie : monohrafiya. : Stroimaterialy, 2008. 223 s.
8. Ukraine Glass industry maintains sustainable operation. *Glass Worldwide*. 10. 2020. R. 80–82.
9. Hurets L. L., Kotolevets A. S., Kotova I. I. Znyzhennia rivnia tekhnohennoho navantazhennia na dovkillia pid chas vykorystannia vidkhodiv скла. *Ekolohichni nauky*. 2018. 4 (23). S. 41–45.
10. Huloian Yu. A. Dekorativnaia obrabotka stekla y stekloyzdelyi. M. : Vysshiaia shkola, 1989. 223 s.
11. Chuprova L. V., Myshuryina O. A. Ekolohicheskye y ekonomicheskye aspekty utylyzatsyy otkhodov stekla. *Mezhdunarodnyi zhurnal*

prykladnykh y fundamentalnykh yssledovanyi. 2016. 11-12. S. 222–225.

12. Koltsova Ya. I., Nikitin S. V., Petukh S. I. Vplyv temperaturno-chasovykh rezhymiv vypalu na strukturu porystykh sklokrystalichnykh materialiv. *Pytannia khimii ta khimichnoi tekhnolohii.* 2018. 2, S. 79–85.

13. Kazymyrenko Yu. O., Drozd O. V., Zharskyi Ye. I. Tekhnolohichni osoblyvosti i fizyko-khimichni protsesy pererobky kryshdalevykh stekol na poroshok. *Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu imeni V.I. Vernadskoho.* 2020. T. 31 (70). 4. S. 180–185.

14. Shchabetia O. A. Mitsnist skla, modyfikovanoho metodamy na osnovi ionnoho obminu ta travlennia.

Visnyk Donbaskoi derzhavnoi mashynobudivnoi akademii. 2019. 1. S. 109–114.

15. Prokopchuk Yu. O. ta in. Systemy pryiniattia rishen v ekonomitsi, tekhnitsi ta orhanizatsiinykh sferakh: monohrafiia. Dnipropetrovsk-Pavlohrad : ART-SynteZ-T, 2014. T. 1. 456 s.

16. Faryonova T. A., Kazymyrenko Yu. A., Kazymyrenko S. A. Razrabotka elektronnoho kataloga kompozytsyonnykh materyalov dlia sudostroenyia y sudoremonta. *Proceedings of Azerbaijan State Marine Academy.* 2018. 2. S. 19–24.

Стаття надійшла до редакції 06.01.2022