

ІНЖЕНЕРНІ НАУКИ

УДК 504.502.174:666.127(477+4-6ЄС)

<https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.1.1>**Н. В. ЖДАНЮК**

кандидат технічних наук,
старший викладач кафедри хімічної технології кераміки та скла
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID: 0000-0003-3771-5045

Н. Д. ПІХУЛЯ

студентка IV курсу хіміко-технологічного факультету
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID: 0009-0006-5853-3813

АНАЛІЗ ВІДХОДІВ І ДЖЕРЕЛ ЗАБРУДНЕННЯ СКЛЯНОГО ВИРОБНИЦТВА

У даній роботі була проведена комплексна оцінка технологічних процесів виробництва скла та аналіз шкідливих викидів. Встановлено, що під час підготовки шихти, варіння скла та формування скляних виробів відбуваються процеси, що призводять до викиду полутантів. Так, під час завантаження шихти в скловарну піч, частина її виноситься топковими газами. Найбільше розпилювання характерне для доломіту, вапняку (крейди), польового і плавикового шпатів, натрій карбонату і борної кислоти. Кількість утвореного пилу може досягати 1,6% від маси шихти. Максимальні пиловтрати припадають на матеріали вапнякової групи і польового шпату (до 85% від загальної кількості пилу). Пил скляних виробництв характеризується фіброгенною (SiO_2) та загальнотоксичною (B_2O_3 , As_2O_3 та ін.) діями. Крім того, на стадії варіння скла відбувається виділення реакційних газів, парів продуктів розплаву. В процесі спалювання палива утворюються такі небезпечні речовини як вуглекислий газ, оксиди азоту, оксиди сульфуру, бензопірен і т.д. Також у процесі роботи скловареної печі відбувається теплове забруднення навколишнього середовища димовими газами та втратою теплоти через стіни основних апаратів і трубопроводів.

Значна кількість шкідливих відходів утворюється в процесах хіміко-механічної обробки скловиробів. Робота скляних заводів призводить до утворення шламів систем підготовки шихти, пиловловлювання і очищення стічних вод, суспензій систем шліфування і полірування скла), а також утворюються стічні води (промивні, полірувальні і травильні розчини, які застосовуються при обробці та декоруванні виробів).

Весь процес скловиробництва супроводжується утворенням склобою, який може бути повторно використаний у виробництві скла.

Таким чином, виробництво виробів із скла пов'язане з утворенням великої кількості відходів і викидів. Під час роботи скляних заводів у довкілля викидаються гази, аерозолі, тверді відходи та стічні води. Відбувається забруднення атмосферного повітря, ґрунтів, наземних і підземних вод. На жаль, оснащення заводів скляної галузі залишається недосконалим з точки зору захисту довкілля.

Ключові слова: виробництво скла, димові гази, теплові втрати, стічні води промислових підприємств, склобій.

N. V. ZHDANIUK

Candidate of Technical Sciences,
Senior Lecturer at the Department of Chemical Technology of Ceramics and Glass
National Technical University of Ukraine
“Ihor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
ORCID: 0000-0003-3771-5045

N. D. PIKHULYA

4th year Student of the Faculty of Chemistry and Technology
National Technical University of Ukraine
“Ihor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
ORCID: 0009-0006-5853-3813

ANALYSIS OF WASTE AND SOURCES OF POLLUTION IN GLASS PRODUCTION

In this work, a comprehensive assessment of technological processes of glass production and analysis of harmful emissions was carried out. It has been established that processes leading to the release of pollutants occur during the preparation of the charge, boiling of glass and forming of glass products. Thus, during loading of the charge into the glass furnace, part of it is carried away by the furnace gases. The greatest spraying is characteristic of dolomite, limestone (chalk), feldspars and fluorspars, sodium carbonate and boric acid. The amount of dust formed can reach 1.6% of the mass of the charge. The maximum dust losses fall on materials of the limestone group and feldspar (up to 85% of the total amount of dust). Dust from glass production is characterized by fibrogenic (SiO_2) and general toxic (B_2O_3 , As_2O_3 , etc.) effects. In addition, at the glass boiling stage, reactive gases and vapors of melt products are released. In the process of burning fuel, such dangerous substances as carbon dioxide, nitrogen oxides, sulfur oxides, benzopyrene, etc. are formed. Also, during the operation of the glass furnace, there is thermal pollution of the environment with flue gases and heat loss through the walls of the main apparatus and pipelines.

A significant amount of harmful waste is generated in the processes of chemical and mechanical processing of glass products. The operation of glass factories leads to the formation of sludges of batch preparation systems, dust collection and wastewater treatment, suspensions of glass grinding and polishing systems), as well as waste water (washing, polishing and etching solutions used in processing and decorating products).

The entire process of glass production is accompanied by the formation of cullet, which can be reused in the production of glass.

Thus, the production of glass products is associated with the generation of a large amount of waste and emissions. During the operation of glass factories, gases, aerosols, solid waste and wastewater are released into the environment. Atmospheric air, soil, surface and underground water are polluted. Unfortunately, the equipment of glass industry factories remains imperfect from the point of view of environmental protection.

Key words: glass production, flue gases, heat losses, waste water of industrial enterprises, broken glass.

Постановка проблеми

У взаємодії суспільства і природи техніка відіграє, як правило, подвійну роль. З одного боку, за її допомогою людина задовольняє свої потреби, а з іншого, вона є головною причиною змін, що відбуваються в природі. Такі зміни є небажаними для всього живого у біосфері. В «Національній стратегії управління відходами в Україні до 2030 року» сказано, що починаючи з 2010 року до 2016 року річний обсяг генерування промислових відходів становив 419,2 млн. тонн, а обсяг накопичення у спеціально відведених місцях або об'єктах склав 13,27 млрд. тонн, тобто значно менше, ніж у попередніх звітах. У 2015 році знизився обсяг утворення промислових відходів з 448 млн. тонн до 312 млн. тонн. При цьому скорочено виробничих відходів на 24% [1].

Згідно із статистичними даними можна зробити ряд висновків, що обумовлено спадом промислового виробництва, військовим конфліктом на сході України та анексією Автономної Республіки Крим.

Скляна промисловість України у 2000–2020-х роках показала стрімке зростання виробництва, що пояснюється унікальними властивостями скла та можливістю застосування у багатьох сферах господарства. Наприклад, будівельно-архітектурне скло, яке широко використовується для скління вікон, знайшло застосування при виготовленні безрамних дверей, перегородок у будівлях, радіусних вікон. Також, варто відмітити використання в якості пакувального матеріалу скляної тари. За ці роки суттєво покращилися фізико-хімічні та експлуатаційні властивості склотари, значно зріс асортимент скляної тари, а також збільшилося її виробництво.

Скляне виробництво зросло, відповідно зросли сумарні викиди скляних заводів. В результаті чого у довкілля викидаються гази, аерозолі, тверді відходи та стічні води. Таким чином відбувається забруднення атмосферного повітря, ґрунтів, наземних і підземних вод. На жаль, оснащення заводів скляної галузі залишається недосконалим з точки зору захисту довкілля. Крім того, на скляних заводах спостерігається недостатнє вторинне використання теплоти від скловарних печей та печей відпалу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Утворення відходів в різних підсистемах виробництва скла викликано недосконалістю технологій окремих стадій виробництва скла, недоліками у конструкції обладнання і його невідповідність характеру процесів, недотримання технологічних регламентів, низька культура обслуговування та експлуатації виробництва. Виробництво виробів із скла пов'язане з утворенням великої кількості відходів і викидів, які можна класифікувати по фізико-механічному стану таким чином: тверді відходи (склобій, пил від шихти, відходи цехів обробки сортового посуду); суспензії та шлами (шлами систем підготовки шихти, пиловловлювання і очищення стічних вод, суспензії систем шліфування і полірування скла); стічні води (промивні, полірувальні і травильні розчини, які застосовуються при обробці та декоруванні виробів); газоподібні викиди та аерозолі (димові гази печей, які містять оксиди нітрогену і сульфору, сполуки свинцю, флуору, фосфору і бору, оксиду карбону, бензопірен. Також відбувається викид димових газів, що утворюються під час сушки шихти, варки скла і т.д.

Із всіх класифікацій відходів найбільш ефективною є класифікація, що враховує їх хіміко-фізичну структуру і специфічні властивості. По властивостях і структурі відходів їх можна розділити на близькі до сировини

(порошкоподібна шихта), до цільового продукту (скломаса, склобій), до сировини інших виробництв. В той же час ряд відходів утворюють так звані вторинні матеріальні ресурси, наприклад склобій, кількість якого у деяких виробництвах досягає 50% від утвореної скломаси. До таких ресурсів відносяться і димові гази скловарних печей, теплота яких може бути використана як джерело енергії. Класифікуючи відходи виробництва скла, необхідно виділити та врахувати їх токсичність, тобто ступінь дії на людину, тваринний світ і рослинність. За цією ознакою можна виділити нешкідливі, токсичні і особливо токсичні відходи.

Скляні виробництва по своїм масштабам незрівняні з енергетичними гігантами, але їх екологічні завдання аналогічні. Це дозволяє звернутися до фундаментальних робіт по вивченню процесів утворення шкідливих сполук в енергетиці. При спалюванні палива в скловарному агрегаті, а також при русі топкових газів в межах агрегату протікає ряд процесів, обумовлених високими температурами, різкими перепадами температур, взаємодією з вогнетривками, ізоляційними матеріалами, а також взаємодією компонентів самих продуктів згорання в цих умовах.

Формулювання мети дослідження

Метою роботи є наукове обґрунтування доцільності впровадження екологічно безпечного виробництва скла в Україні на основі аналізу всіх стадій виробництва скла, можливостей запровадження енерго- та ресурсозберігаючих технологій з врахуванням фінансово-економічних факторів. Необхідність впроваджувати вторинне використання склобою. Особливе, центральне місце займає необхідність заміни діючого обладнання, з метою зменшення викидів димових газів та недоочищених стічних вод. Найбільш перспективними шляхами вирішення проблеми є застосування новітніх технологій, доцільність розробки яких визначається умовами реалізації випущеної продукції за ринковими цінами, та впливом на довкілля.

Виклад основного матеріалу дослідження

Одним із методів уникнення екологічних небезпек підприємств є проведення комплексної оцінки технологічних процесів [2]. Під час підготовки шихти, варіння скла та формування скловиробів проходять процеси, що призводять до шкідливих викидів і шкідливих дій:

1. завантаження шихти в скловарну піч, при цьому частина її виноситься топковими газами;
2. виділення реакційних газів, парів продуктів розплаву;
3. утворення шкідливих компонентів в процесі спалювання палива;
4. теплове забруднення димовими газами;
5. втрати теплоти через стіни основних апаратів і трубопроводів;
6. утворення шкідливих відходів при процесах хіміко-механічної обробки скловиробів;
7. утворення склобою;
8. забруднення оливами;
9. утворення забруднених вод та шламів.

Викид шкідливих речовин на стадіях скляного виробництва представлено на рис. 1.



Рис. 1. Викид шкідливих речовин на стадіях технологічного процесу виготовлення сортового посуду

Технологія скла включає дві основні стадії: підготовку сировинних компонентів з отриманням шихти та процесом виготовлення скловиробів. Основним компонентом шихти, що використовується для широкого асортименту стекол, є кварцовий пісок, що вводиться у скло силіцій(IV) оксидом, який є скло утворюючим оксидом та складає 50–75% маси готового скла. До складу шихти додають крейду і вапняк, що вводять в скло оксиди лужноземельних металів. Для введення оксидів лужних металів використовують карбонати натрію та калію. Ці оксиди становлять основу промислових стекол. Також до складу стекол можуть бути введені сульфати, кальцій нітрат, натрій нітрат, борна кислота, бура, оксиди п्लумбуму, цинку, арсену, фтористі сполуки та ін. [3].

Етап підготовки шихти супроводжується пилоутворенням. Так, початкові операції розвантаження і транспортування компонентів шихти, характеризується виділенням пилу, причому на кожній з технологічних операцій,

якісний і фракційний склад якого буде різним. Небезпекою є те, що навіть при локальному попаданні в атмосферу (від однієї установки), викликаному неправильною організацією повітрообміну, пил може розповсюдитися по всьому відділенню.

Концентрація пилу в повітрі дільниці підготовки сировини і приготування шихти може досягати сотень і навіть тисяч міліграм на кубічний метр. Найбільше розпилювання характерне для доломіту, вапняку (крейди), польового і плавикового шпатів, натрій карбонату і борної кислоти. Кількість утвореного пилу може досягати 1,6% від маси шихти. Максимальні пиловтрати припадають на матеріали вапнякової групи і польового шпату (до 85% від загальної кількості пилу). В повітрі складової дільниці міститься високодисперсний пил, 60–70% якого можуть складати частинки менше 5 мкм. Пилові частинки навіть розміром до 50 мкм здатні утримуватися у повітрі тривалий час. Пил скляних виробництв характеризується фіброгенною (SiO_2) та загальнотоксичною (B_2O_3 , As_2O_3 та ін.) діями.

Найбільш небезпечними речовинами, які використовуються у скловиробництві є сполуки плюмбуму та арсену. У виробництві кришталю, оптичного скла, емалей використовують матеріали, що містять оксиди плюмбуму (PbO_2 , Pb_3O_4), пил яких високотоксичний, впливає на серцево-судинну і нервову системи, кровотворні органи і шлунково-кишковий тракт та має здатність накопичуватися в організмі. Граничний вміст яких у питній воді не повинен перевищувати 10 мкг/л [4]. Крім того, сполуки плюмбуму поступають в ґрунті і поверхневі води з неефективно очищеними промисловими стоками та з атмосферними опадами. Найефективніші методи виділення сполук плюмбуму при підготовці води – це коагуляція/осадження, сорбція з використанням іонообмінних смол та сорбентів на основі глинистих мінералів, а також використання методу біоаккумуляції з застосуванням біоплівки, фіксованих водоростей [5]. Як освітлювач у виробництві скла використовують високотоксичний арсен(III) оксид (As_2O_3). Для організму людини він здійснює згубний вплив, руйнує вегетативну нервову систему та порушує живлення тканин організму, що може призвести до паралічу кровоносної системи, порушення обміну речовин та появи злоякісних утворень. Сполуки арсену, так само як і сполуки плюмбуму можуть накопичуватися в організмі. Доза, що приводить до серйозного отруєння людини, складає 0,01–0,052 г, а доза 0,07–0,18 г є для неї смертельною [6]. Сполуки плюмбуму та арсену відносяться до II класу небезпеки [4].

Для контролю шкідливих викидів введена регламентація, згідно якої гранично допустимі викиди шкідливих речовин (ГДК) встановлюються для кожного джерела з урахуванням викидів інших джерел, що знаходяться в зоні негативної дії промислового підприємства та навколишньому просторі. Треба мати на увазі, що можлива величина ГДК є максимальною граничною, проте у ряді випадків вона може бути перевищена в результаті недотримання технологічного регламенту, тому приймають контрольні рівні (норми) викидів, загальна маса яких повинна бути менше гранично допустимих. Ця різниця для високотоксичних викидів у ряді випадків може бути зменшена в десятки разів.

У атмосфері на рівні приземного шару, концентрація шкідливих речовин не повинна перевищувати 30% від ГДК в робочій зоні приміщення. Орієнтовно безпечний рівень впливу речовин у робочій зоні та гранично-допустимі концентрації шкідливих речовин у атмосферному повітрі населених місць, що використовуються при приготуванні шихти, приведені табл. 1. [7, 8].

В димових газах міститься з розрахунку на 1 т скломаси, мг/м³: фторидів – 150, оксидів арсену 55, оксидів бору – 1300, оксидів сульфору – 375. У перерахунку на одну скловарну піч продуктивністю 25 т скломаси в добу протягом року в атмосферу через димохід викидається 5–6 т As_2O_3 , 100–150 т борної кислоти, 20–25 т сполук фтору і до 250–300 т оксидів сульфору. Все це говорить про необхідність швидкого вирішення проблеми скорочення шкідливих викидів при варці скла, що можливо в результаті скорочення або повного виключення шкідливих викидів шляхом зміни технології варки, конструкції печей і ін. і в поєднанні з глибоким очищенням димових газів від шкідливих речовин в спеціальних установках. Вирішення завдань промислової екології при інтенсифікації виробництва скла, розширенні асортименту скловиробів і їх якості вимагає розглядати виробництво скла як замкнуту систему, що взаємодіє з навколишнім середовищем. Останніми роками для аналізу таких складних систем використовується підхід, що розглядає всю лінію як технологічну динамічну систему, що складається з ряду взаємозв'язаних підсистем.

В процесі спалювання палива досягаються високі температури газових потоків, які передають тепло скломасі. Процеси спалювання реалізуються в умовах незначного надлишку повітря, що позначається на кінетиці шкідливих компонентів, що утворюються в процесі горіння [9].

Газоподібні викиди включають сполуки карбону, сульфору і нітрогену. Оксиди карбону є продуктами спалювання вуглеводневих видів палива. За наявності достатньої кількості кисню весь об'єм карбон(II) оксиду (CO) окиснюється до карбон(IV) оксиду (CO_2). Максимальний вміст CO_2 в газі утворюються при коефіцієнті надлишку повітря вище 1 (при спалюванні природного газу вміст CO_2 складає 9, моторного палива – 12, а мазуту – 13–14%).

До особливо токсичних газоподібних викидів належить сульфур(IV) оксид. У скляному виробництві при згорання палива і утворенні оксидів сульфору, практично весь сульфур окислюється до сульфур(IV) (SO_2) і тільки 1% припадає на сульфур(VI) оксид (SO_3). Тривалість перебування якого в атмосфері порівняно мала.

Він бере участь в каталітичних, фотохімічних і інших реакціях. При взаємодії SO_3 з водою утворюється сульфатна кислота. Кислотні дощі – результат у тому числі і викидів оксидів сульфуру [9].

Таблиця 1

Орієнтовно безпечний рівень впливу речовин у робочій зоні та гранично-допустимі концентрації шкідливих речовин у атмосферному повітрі населених місць

Компонент шихти	Орієнтовно безпечний рівень впливу (ОБРВ), мг/м^3 у робочій зоні	ГДК, мг/м^3		Стан речовини а – аерозоль; п а – пари і аерозоль	Клас небезпеки*
		атмосферному повітрі населених місць			
		Максимальна разова	середньодобова		
Діоксид кремнію (кристалічна форма): кварц, кристобаліт, триміт. Пил неорганічний, що містить двоокис кремнію в % – більше 70 (дінас та ін.)	1	0,15	0,05	а	3
Те ж, при вмісті в пилі цих речовин 10–70% (стадія обробки піску – сушка, відмивання, розділення на фракції) – 70–20 (шамот, цемент та ін.)	2	0,3	0,1	а	3
Те ж, при вмісті в пилі цих речовин 2–10% (стадія дозування, змішення) – нижче 20 (доломіт та ін.)	4	0,5	0,15	а	4
Алюмінію оксид (в перерахунку на алюміній)	6	-	0,01	а	2
Заліза оксид (у перерахунку на залізо)*	4	-	0,04	а	3
Кислота борна	10	-	0,02	п а	3
Ванадій і його сполуки (ванадію п'ятиоксид)	0,1/0,5	-	0,002	а	1
Германій діоксид (у перерахунку на германій)	2	-	0,04	а	3
Кобальту оксид	0,05/0,01	-	0,001	а	2
Марганець і його сполуки (у перерахунку на двоокис марганцю)	0,3	0,01	0,001	а	2
Міді оксид (у перерахунку на мідь)	-	-	0,002	а	2
Миш'як, неорганічні сполуки (у перерахунку на миш'як)	0,04/0,01	-	0,003	а	2
Свинець і його неорганічні сполуки (у перерахунку на свинець)	0,01/0,05	0,001	0,0003	а	1
Талію карбонат (у перерахунку на талій)	0,01	-	0,0004	а	1
Хром шестивалентний (у перерахунку на триоксид хрому)	0,01	0,0015	0,0015	а	1
Барій вуглекислий (у перерахунку на барій)	0,5	-	0,004	а	1
Калію карбонат (поташ)	2	0,1	0,05	а	4
Кальцію карбонат	-	-	0,05	а	3
Натрію сульфат	-	0,3	0,1	а	3

*Примітка. Класи небезпеки: 1 – речовини надзвичайно небезпечні; 2-речовини високонебезпечні; 3-речовини помірно небезпечні; 4 – речовини малонебезпечні.

В процесі спалювання палива утворюється ряд сполук нітрогену з киснем (N_2O ; NO ; N_2O_3 ; NO_2 ; N_2O_4 , N_2O_5). Звичайно сумарну кількість N_yO_x приводять до NO_2 . Для оцінки шкідливої дії викинутих N_yO_x потрібно враховувати те, що активне перебування NO в атмосфері обчислюється ≈ 100 годинами, а N_2O – 4,5 роками. Велика частина N_yO_x утворюється в зоні активного горіння. Проте точний розрахунок утворення N_yO_x в топкових пристроях і об'ємі печі є складним і важко вирішуваним завданням, що вимагає знань і умов протікання хімічних реакцій, гідродинаміки, тепло- і масопереносу. Встановлено, що N_yO_x при горінні утворюється в результаті окислення нітрогену, що міститься у паливі, і безпосереднього окислення азоту повітря. Багато в чому їх вміст визначається коефіцієнтом надлишку повітря [9].

Спалювання органічного палива супроводжується утворенням канцерогенних речовин і, зокрема, бензопірену, який може бути основою для синтезу інших токсичних речовин. Бензопірен утворюється при температурі 700–800°C за рахунок протікання ряду піролітичних реакцій. Хімічна формула – $\text{C}_{20}\text{H}_{12}$, молекулярна маса рівна 252 г/моль, температура плавлення 179°C, кипіння 480–500°C. У продуктах згорання бензопірен присутній у вигляді крапель рідини або жовтих газоподібних кристалів [9].

Основою дії шкідливих речовин на організм людини є сумарна дія декількох домішок на відміну від методик низки країн. Якщо в атмосфері присутньою n шкідливих домішок однонаправленої дії, то їх безрозмірна сумарна концентрація Q не повинна бути вище одиниці.

Викиди газів і виділення теплоти з пічного відділення суттєво перевищують об'єми викидів складальної дільниці. Значна кількість теплоти викидаються з відпрацьованими газами печі, частково теплота втрачається у процесах формування виробів із скла, де вся теплота, що акумульована в розплаві скломаси, втрачається. Принципи конструювання, які використовуються в сучасних скловарних печах вимагають серйозного аналізу, і в першу чергу з позицій дії скловарної печі на навколишнє середовище.

До викидів із скловарної печі можна віднести компоненти, які містяться в продуктах згорання на вході в регенератори і рекуператори, а до викидів в повітря – компоненти, що викидаються через димар в атмосферу. Ці викиди містять як тверді порошкоподібні сполуки, так і газоподібні або рідкі (дисперсні). До основних чинників, що впливають на кількість шкідливих речовин, що викидаються в атмосферу, відноситься хімічний склад скла і спосіб приготування шихти, тип печі і режим її експлуатації, температура варіння і ін. За нормальних умов роботи печі порошкоподібні частинки осідають в районі завантажувальної кишені печі, а також на поверхні склепіння. При температурі плавлення відбувається випаровування в результаті розкладання компонентів шихти. Утворенню газоподібних викидів сприяють головним чином сульфати, хлориди, карбонати, флуориди, а також сполуки бору, ванадію, плумбуму, арсену та селену. Окрім випаровування компонентів з шихти спостерігається випаровування деяких інгредієнтів з поверхні скломаси.

При вивченні процесів варки тарного скла, було встановлено, що підвищення температури на 25°C призводить до збільшення викиду дисперсних частинок на 19%. Викид твердих і рідких частинок прямо пропорційний площі варильної частини і продуктивності печі. При збільшенні продуктивності печі (підвищенні температури горіння і витрат палива) зростає і кількість оксидів нітрогену NO і NO₂. Внаслідок високої швидкості охолодження приблизно 95% їх кількості складає NO. Так як вміст азоту в паливі незначний, то практично всі оксиди нітрогену утворюються при взаємодії азоту повітря і надлишку кисню. Для зменшення викидів твердих і рідких частинок і оксидів нітрогену пропонується при варці безбарвного скла додавати вуглець і витримувати оптимальні умови окислювально-відновної рівноваги на поверхні скломаси [9].

Негативний вплив пилових викидів, особливо пилу з частинками кремній(IV) оксид та алюміній оксид, на організм людини призводить до фіброгенного впливу на людину [8]. Встановлено, що частинки розміром 5 мкм і більш осідають у верхніх дихальних шляхах, розміром 4,7–3,3 мкм – в трахеях, розміром 3,3–2,1 мкм – у верхніх долях легенів, розміром 2,1–0,65 мкм у середніх долях легенів, розміром менше 0,65 мкм – в нижніх долях легенів [10]. Це вимагає таких технічних рішень, що забезпечили б вміст шкідливих викидів в атмосфері робочої зони не вище за рівень ГДК.

Не менш небезпечними з погляду забруднення навколишнього середовища є стадії скловаріння і вироблення скловиробів. Традиційно використовується явно застарілий термін «варка скла», який включає ряд фізико-хімічних перетворень оксидів при високих температурах. Тому скловарна піч повинна розглядатися як реактор, в якому протікають різноманітні гетерогенні і гомогенні процеси: декарбонізація, плавлення, протікання реакцій в твердій і рідкій фазах при взаємодії силікатів в поєднанні з процесами взаємного розчинення. Всі процеси утворення скла протікають при високих температурах, які досягаються внаслідок підведення тепла при спалюванні вуглеводневої сировини або підведення електроенергії. Спалювання палива пов'язане з утворенням шкідливих компонентів, що негативно впливають на біосферу.

Для багатьох компонентів шихти, таких як сполуки бору, плумбуму, арсену, сурми, селену та ін., характерна летючість в діапазоні температур утворення скла. Як правило, з підвищенням температури варки скла їх виділення збільшується. Воно залежить також і від складу шихти. Також, необхідно відзначити дуже шкідливий вплив на біосферу (викиди) флуористих сполук, цинку, калію, арсену, свинцю. Наприклад, при полум'яній варці кристалю із вмістом оксиду плумбуму 24% в атмосферу викидається 10–15% оксиду свинцю, що входить до складу шихти, який випадає з атмосфери навколо скляних заводів. Флуористі сполуки випаровуються в 5–7 разів інтенсивніше, ніж сполуки плумбуму. Великі втрати бору спостерігаються при варці боросилікатних стекел.

У виробництві скла існує проблема утилізації тепла теплове забруднення димовими газами; втрати теплоти через стіни основних апаратів і трубопроводів. Сучасна регенеративна піч може мати коефіцієнт корисної дії до 50%, причому втрати з димовими газами складають понад 20%. Це пов'язано з тим, що процеси варіння силікатного скла відбуваються за температури близько 1500°C, в результаті чого відбуваються великі втрати тепла через стінки печі та з димовими газами. Вирішення проблеми втрати тепла, а також підвищити теплову ефективність теплотехнічного агрегату можна використовувати електричні печі та печі із примусовим кисневим дуттям. Використання таких печей дозволяє підвищити питомі характеристики в порівнянні з печами на газовому органічному паливі. Однак електричні печі мають ряд недоліків, що обмежує їх широке використання. Зниження споживання енергії в скловарному виробництві можна реалізувати у двох напрямках: покращення та автоматизація керування енергоспоживанням печі (зниження питомих витрат на енергію) та підвищення ефективності виробництва скловиробів шляхом скорочення частки некондиційних виробів та відходів (ефективність випуску придатної продукції). Враховуючи, що процеси варіння силікатного скла відбуваються за температури близько 1500°C. Враховуючи існуючий температурний рівень вихідних газів, регенератори не завжди здатні використати тепло димових газів. Підвищення ступеню утилізації можна досягти використовуючи пластинчасті або трубчасті теплообмінники з ребристими трубками. Ці конструктивні елементи показали свою ефективність в агрегатах, що експлуатуються в подібних умовах в різних галузях промисловості та системах тепlopостачання. Практичне впровадження таких рішень потребує додаткових теоретичних досліджень щодо визначення оптимальних

конструктивних та режимних параметрів роботи такого теплоутилізаційного обладнання у складі теплотехнологічних комплексів з виробництва скломаси [11].

Скляне виробництво супроводжується утворенням скляних відходів. Важливим напрямом при створенні досконалої технології виготовлення скла є залучення в переробку склобою, що дозволяє одночасно вирішувати питання зниження об'ємів забруднення навколишнього середовища. Склобій, утворений безпосередньо на виробництві можна використовувати як добавку до шихти без коригування складу. Крім того, сучасні технології виробництва скла дозволяють збільшити вміст склобою як добавку до шихти, і доводити його до 50%. Останнім часом спостерігаємо збільшення утворення скляних відходів, але утилізація або вилучення цих відходів залишається незначною [12]. В таблиці 2 представлено утворення скляних відходів та поводження з ними [13].

Таблиця 2

Обсяги утворення скляних відходів та поводження з ними

Рік утворення	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2000
Утворення відходів	40,1	23,5	22,3	25,8	34,3	41,9	19,8	21,0
Утилізація відходів	14	1,8	2,1	1,8	3,4	5,8	5,9	7,2
Видалення у спеціально відведені місця	0,1	0,3	0,3	1,0	0,3	0,5	0,4	0,4

Відповідно до даних Державної служби статистики України за 2000 рік в Україні утилізувалося тільки 34,3% скляних відходів та 1,9% з них була виведення у спеціальні місця [14]. Тоді як у країнах ЄС ці показники перевищують 87%, а в Данії та Швеції досягають 98% та 97% відповідно [15].

У виробництві скла основними стоками є промивні води з цехів підготовки сировини, обробки виробів води від миття обладнання, тари, приміщень, для охолодження і т.д. Таким чином утворюються шлами систем підготовки шихти, пиловловлювання і очищення стічних вод, суспензії систем шліфування і полірування скла та промивні, полірувальні і травильні розчини, які застосовуються при обробці та декоруванні виробів. У виробництві скла основними стоками є промивні води з цехів підготовки сировини, обробки виробів води від миття обладнання, тари, приміщень, для охолодження і т.д.

За вмістом домішок їх розділяють на групи:

- 1) води з нерозчинними домішками частинок розміром більше 10^{-5} – 10^{-4} мм;
- 2) води, що представляють колоїдні розчини;
- 3) води, які містять розчинні органічні і неорганічні речовини;
- 4) води, що містять речовини, які дисоціюють на іони.

При очищенні стічних вод скляного виробництва застосовують методи фільтрування, осадження, флотації, електрофлотації, нейтралізації, а також запровадження оборотних циклів водопостачання. Перспективними є методи, що використовують процеси мембранної технології, електрокоагуляції, озонування [5, 16].

Особливу небезпеку несуть рідкі відходи механічної обробки скла, а саме полірування виробів, виконується із застосуванням розчинів, що містять флуористі сполуки. Шлам, утворений після полірування кришталю потребує регенерації [17].

Висновки

Аналіз технології скляних виробництв дозволив визначити етапи виробництва на яких утворюються політанти та відбувається їх викид у навколишнє середовище. А також підтвердив, що перед галуззю стоять важливі завдання: здійснення модернізації і комплексної автоматизації технологічних процесів. Перспективною є розробка і створення заводів-автоматів по виробництву масових виробів для різних галузей народного господарства. При розробці нових технологій виготовлення скляних виробів необхідно розглядати технологічний процес як динамічну систему, яка складається з ряду підсистем, що знаходяться в тісній взаємодії як на рівні процесів, апаратів і машин, так і на рівні цілих блоків. Таким чином, майбутнє всіх скляних виробництв за створенням технологій, які будуть враховувати як обов'язковий момент раціональне використання і відтворення природних ресурсів.

Список використаної літератури

1. Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року. Розпорядження КМУ від 8.11.2017 р. № 820. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80#Text>
2. Малик Ю.О., Голець Н. Ю., Захарко Я. М., Петрушка І. М. Екологічні проблеми і шляхи їх вирішення. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Хімія, технологія речовин та їх застосування.* 2011. 700. С. 244-246.
3. Воронов Г. К. Технології виробництва скломатеріалів : конспект лекцій для студентів для студентів 1 курсу денної форми навчання другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 161 – Хімічні технології та інженерія. Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. 128 с.

4. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людей : ДСанПіН 2. 2. 4 – 171 – 10. [Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 1 липня 2010 р.] за N 452/17747]. К. : Міністерство охорони здоров'я України, 2010. 45 с. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text>
5. Филипчук В.Л. Очищення багатокомпонентних стічних вод промислових підприємств. : Монографія. Рівне: УДВГП, 2004. 232 с.
6. Смоляр В., Петрашенко Г. Арсен в харчових продуктах і раціонах та його токсичність. *Оригінальні дослідження. Проблеми харчування*. 2009. № 3-4. С. 46–52.
7. Наказ МОЗ України № 1596 від 14.01.2020 р. «Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин у повітрі робочої зони». Зареєстровано в Міністерстві юстиції України Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 03 серпня 2020 р. за № 741/35024. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0741-20#Text>
8. Наказ МОЗ України № 52 від 14.01.2020 р. «Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених». Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 10 лютого 2020 р. за № 156/34439. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0156-20#Text>
9. Жданюк Н.В., Племянніков М.М. Энерготехнологія хіміко-технологічних процесів у виробництві кераміки та скла. Паливо і його характеристики. Розрахунки горіння палива : навч. посіб. для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 62 с.
10. Chandel A., Goyal A.K., Ghosh G., Rath G. Recent advances in aerosolised drug delivery. *Biomedicine & Pharmacotherapy*. 2019. 112. P. 108-601. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2019.108601>
11. Кошельник, О. В., Морозов, О. Є., Кошельник, В. М. Перспективні системи багатоступінчастої утилізації теплоти димових газів промислових скловарних печей безперервної дії. *Промислова теплотехніка*, 2010. т. 32. № 6. С. 91-97.
12. Гурець Л.Л., Котолевець А.С., І.І. Котова. Зниження рівня техногенного навантаження на довкілля під час використання відходів скла. *Екологічні науки. Науково-практичний журнал*. 2018 (23), № 4, С. 41-45. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716-2018-4-23-9>
13. Державна служба статистики України. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua>
14. Заюков І. В., Кобилянський О.В. Переробка відходів скла як фактор екологічної безпеки України // Матеріали науково-практичної конференції «Якість і безпека. Сучасні реалії» (м. Вінниця, 14-15 березня 2018 р.) – Вінниця : ВНТУ, 2018. С. 135-137.
15. Жданюк Н.В. Вдосконалення оборотних циклів грануляторів на заводах по виробництву скляної тари. Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених «Екологічний інтелект – 2011» (19-20 травня 2011 р.), м. Дніпропетровськ, Україна. – С. 135-136.
16. Тузяк, В.Є. Теоретичні основи утилізації промислових відходів та синтезу з них нових будівельних матеріалів. Знешкодження отруйних токсичних речовин, радіоактивних відходів : навчальний посібник. Львів : Центр Європи, 2011. 248 с.

References

1. Natsionalna stratehiia upravlinnia vidkhodamy v Ukraini do 2030 roku. Rozporiadzhennia KМУ vid 8.11.2017 r. № 820. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80#Text> [in Ukrainian].
2. Malyy Yu.O. (2011). Ekolohichni problemy i shliakhy yikh vyrishennia. *Visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska politehnika»*. *Khimiia, tekhnolohiia rehovyn ta yikh zastosuvannia*. 700. 244-246. [in Ukrainian].
3. Voronov H. K. (2020). *Tekhnolohii vyrobnytstva sklomaterialiv* : Kharkiv : KhNUMH im. O. M. Beketova. [in Ukrainian].
4. Hihienichni vymohy do vody pytnoi, pryznachenoj dlia spozhyvannia liudei : DСанPiН 2.2.4-171- 10. К. : Ministerstvo okhorony zdorovia Ukrainy. (2010). Retrieved from URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text> [in Ukrainian].
5. Fylypchuk V.L. (2015). *Ochyshchennia bahatokomponentnykh stichnykh vod promyslovykh pidpriemstv. : Monohrafiia*. Rivne: UDVHP. [in Ukrainian].
6. Smoliar V. (2019). *Arsen v kharchovykh produktakh i ratsionakh ta yoho toksychnist*. Oryhinalni doslidzhennia. *Problemy kharchuvannia*. 3-4, 46–52. [in Ukrainian].
7. Pro zatverdzhennia hihienichnykh rehlementiv dopustymoho vmistu khimichnykh i biolohichnykh rehovyn u povitri robochoi zony. Nakaz MOZ Ukrainy № 1596. (2020). Retrieved from URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0741-20#Text> [in Ukrainian].
8. Pro zatverdzhennia hihienichnykh rehlementiv dopustymoho vmistu khimichnykh i biolohichnykh rehovyn v atmosferному povitri naselenykh. Nakaz MOZ Ukrainy № 52. (2020). Retrieved from URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0156-20#Text> [in Ukrainian].

9. Zhdaniuk N.V. (2022). Enerhotekhnolohiia khimiko-tekhnologichnykh protsesiv u vyrobnytstvi keramiky ta skla. Palyvo i yoho kharakterystyky. Rozrakhunky horinnia palyva. Kyiv : KPI im. Ihoria Sikorskoho. [in Ukrainian].
10. Chandel A. (2019). Recent advances in aerosolised drug delivery. *Biomedicine & Pharmacotherapy*. 112. 108-601. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2019.108601> [in Ukrainian].
11. Koshelnik, O. V. (2010). Perspektyvni systemy bahatostupinchastoi utylizatsii teploty dymovykh haziv promyslovykh sklovarnykh pechei bezpererвної dii. *Prom. teplotekhnika*, 32, 6, 91-97. [in Ukrainian].
12. Hurets L.L. (2018). Znyzhennia rivnia tekhnohennoho navantazhennia na dovkillia pid chas vykorystannia vidkhodiv skla. *Ekolohichni nauky. Naukovo-praktychnyi zhurnal*. (23), 4, 41-45. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716-2018-4-23-9> [in Ukrainian].
13. Derzhavna sluzhba statystryky Ukrainy. Retrieved from URL: <https://www.ukrstat.gov.ua> [in Ukrainian].
14. Zaiukov I. V. (2018). Pererobka vidkhodiv skla yak faktor ekolohichnoi bezpeky Ukrainy. *Materialy naukovo-praktychnoi konferentsii «Iakist i bezpeka. Suchasni realii» Vinnytsia : VNTU*. [in Ukrainian].
15. Zhdaniuk N.V. (2011). Vdoskonalennia oborotnykh tsykliv hranulatoriv na zavodakh po vyrobnytstvu sklianoi tary. *Materialy VI Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsiiai molodykh vchenykh «Ekolohichni intelekt – 2011» Dnipropetrovsk: Dnipropetr. nats. un-t zalizn. transp. im. akad. V. Lazariana*. [in Ukrainian].
16. Tuziak, V.Ie. (2011). Teoretychni osnovy utylizatsii promyslovykh vidkhodiv ta syntezy z nykh novykh budivelnykh materialiv. *Zneshkodzhennia otruiynykh toksychnykh rehovyn, radioaktyvnykh vidkhodiv : navchalnyi posibnyk*. Lviv : Tsentr Yevropy. [in Ukrainian].