

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Навчально-науковий інститут Природокористування

Кафедра екології та технологій захисту навколишнього середовища

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

кваліфікаційної роботи ступеня бакалавра

студентки Король Тетяни Олександрівни

(ПІБ)

академічної групи 183 – 20ск – 1П

(шифр)

спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища»

(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою – «Технології захисту навколишнього середовища»

на тему: «Удосконалення технології утилізації відходів скла»

(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка	Підпис
кваліфікаційної роботи	Борисовська О.О.		
розділів:			
Теоретичного	Борисовська О.О.		
Технологічного	Борисовська О.О.		
Охорона праці	Чеберячко Ю.І.		
Рецензент			
Нормоконтролер	Грунтова В.Ю.		

Дніпро

2023

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
« Дніпровська політехніка »

ЗАТВЕРДЖЕНО:
 завідувачка кафедри ЕТЗНС
Борисовська О.О.
 « __ » _____ 2023 року

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу ступеня бакалавра

студентки Король Тетяни Олександрівни
 (прізвище та ініціали)

академічної групи 183 – 20ск – 1П
 (шифр)

спеціальності – 183 «Технології захисту навколишнього середовища»
 (код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою – «Технології захисту навколишнього середовища»

(офіційна назва)

на тему «Удосконалення технології утилізації відходів скла»

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 02.06.2023 р.441-с

	Розділ	Зміст	Термін виконання
1	Теоретичний	Проаналізувати сучасний стан у сфері поводження з відходами скла в Україні; дослідити процес утворення та переробки скла у складі твердих побутових відходів, а також у складі будівельних відходів внаслідок бойових дій. Виконати аналіз екологічних наслідків потрапляння відходів скла у навколишнє природне середовище	01.03.23- 01.04.23
2	Практичний	Розглянути можливі шляхи утилізації відходів скла. Виконати порівняльний аналіз технологій переробки відходів скла. Розробити рекомендації щодо удосконалення технології утилізації відходів скла шляхом виробництва склонаповненого бетону	02.04.23- 01.05.23
3	Охорона праці	Розробити заходи з охорони праці при реалізації запропонованих рішень	02.05.23- 01.06.23

Завдання видано _____ Борисовська О.О.
 (підпис керівника) (прізвище, ініціали)

Дата видачі 01.03.23

Дата подання до екзаменаційної комісії 03.07.23

Прийнято до виконання _____ Король Т.О.
 (підпис студента) (прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 75 сторінок тексту, 9 рисунків, 20 таблиць, 30 літературних джерел, 5 додатків.

Мета роботи полягає у аналізі екологічної небезпеки від утворення значної кількості відходів скла та надходження цих відходів у довкілля, а також у розробці шляхів удосконалення технології утилізації цих відходів.

У вступі викладено актуальність питання накопичення відходів скла та проблем з їх утилізацією та сформовано задачі кваліфікаційної роботи.

У теоретичному розділі наведені характеристики скла, його хімічний склад та технології виготовлення. Оцінено шкідливий вплив скляної промисловості та її продукції на навколишнє середовище. Проаналізовано проблему накопичення скляних відходів в складі комунальних, промислових відходів та в наслідок повномасштабного вторгнення росії в Україну.

У технологічному розділі наведено результати аналізу технологій, які є екологічно та економічно доцільними для утилізації скляних відходів. Проаналізовано можливості використання скла у виробництві бетону та розроблено спосіб утилізації скла для створення склонаповненого бетону з залученням ста відсотків скла.

У розділі «Охорона праці» обґрунтовано заходи щодо безпечного обслуговування обладнання та забезпечення комфортних та безпечних умов праці на виробництві.

У висновках наводиться основні результати кваліфікаційної роботи та очікувана ефективність запропонованих технологій.

ЕКОЛОГІЧНА НЕБЕЗПЕКА, ВІДХОДИ, СКЛО, СКЛОБІЙ, РЕЦИКЛІНГ, КЕРУВАННЯ ВІДХОДАМИ, ВТОРИННІ МАТЕРІАЛЬНІ РЕСУРСИ, БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ, СКЛОБЕТОН.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІЗ СИТУАЦІЇ У СФЕРІ ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ СКЛА В УКРАЇНІ	8
1.1 Скло, його основні характеристики та технологія виготовлення	8
1.2 Сучасний стан у сфері поводження з відходами скла в Україні.	13
1.2.1 Утворення та переробка скла у складі твердих побутових відходів	13
1.2.2 Утворення відходів скла у складі будівельних відходів внаслідок бойових дій.....	18
1.3 Екологічні наслідки потрапляння відходів скла у навколишнє природне середовище	21
2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ СКЛА.....	25
2.1 Можливі шляхи утилізації відходів скла	25
2.1.1 Повторне використання	25
2.1.2 Додавання скла до шихти	27
2.1.3 Виробництво керамічних виробів	33
2.1.4 Виробництво скловолокна	40
2.1.5 Виробництво піноскла	45
2.1.6 Використання у дорожньому будівництві	48
2.1.7 Виробництво бетону із наповненням зі склобою	52
2.1.8 Порівняльний аналіз технологій переробки відходів скла	60
2.2 Розробка рекомендацій щодо удосконалення технології утилізації відходів скла шляхом виробництва склонаповненого бетону	63
3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	71
ВИСНОВКИ	76

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	78
Додаток А Копія публікацій	81
Додаток Б Відгук керівника	86
Додаток В Рецензія	87
Додаток Д Довідка про результати перевірки тексту кваліфікаційної роботи бакалавра на присутність запозичень.....	88
Додаток Е Відгуки керівника розділу з охорони праці та нормоконтролера	89

ВСТУП

Актуальність теми. Скло – це найпоширеніший та універсальний матеріал, що набув високої популярності у світі завдяки своїм властивостям. Скло стійке до впливу біологічних чинників, руйнуванню під дією слабких та сильних кислот, стійке до корозій, що робить його ідеальним матеріалом для використання у всіх сферах діяльності людини, починаючи від побуту і закінчуючи промисловими приладами спеціального призначення. Але позитивні характеристики матеріалу стають вагомим недоліком при його утилізації. Скло важко піддається природному розкладанню та зберігає свої властивості до 1000 років. Найбільш розповсюдженим, простим та дешевим методом видалення цього виду відходів є поховання у спеціально відведених для цього місцях або об'єктах, що займають значну земельну площу. Більшість з них не відповідають вимогам екологічної безпеки і призводять до забруднення навколишнього середовища.

Висока вартість сировини, що потрібна для виготовлення скла та велика кількість проблем при його видаленні спонукають до розробки шляхів утилізації та повторного використання цього матеріалу. Для запобігання накопичення великої кількості відходів доцільним буде використання правила «3R – Reuse Reduce Recycle» (зменшення, повторне використання, перероблення). Першим кроком до впровадження цієї системи є удосконалення та розробка заходів з управління та утилізації відходів.

Метою роботи є аналіз екологічної небезпеки від утворення значної кількості відходів скла та надходження цих відходів у довкілля, а також розробка шляхів удосконалення технології утилізації цих відходів.

Для досягнення зазначеної мети були поставлені такі задачі:

1. Проаналізувати сучасний стан у сфері поводження з відходами скла в Україні; дослідити процес утворення та переробки скла у складі твердих побутових відходів, а також у складі будівельних відходів внаслідок бойових дій. Виконати аналіз екологічних наслідків потрапляння відходів скла у

навколишнє природне середовище.

2. Розглянути можливі шляхи утилізації відходів скла. Виконати порівняльний аналіз технологій переробки відходів скла. Розробити рекомендації щодо удосконалення технології утилізації відходів скла шляхом виробництва склонаповненого бетону.

3. Розробити заходи з охорони праці при реалізації запропонованих рішень.

Апробація результатів кваліфікаційної роботи.

Апробація роботи проводилась на:

1. Всеукраїнській студентській науково-технічній конференції «Сталий розвиток міст» (21-22 квітня 2023 р., Харків).

2. Студентській науково-технічній конференції «Тиждень студентської науки - 2023» (24 – 28 квітня 2023 р., Дніпро).

За результатами досліджень надруковано тези доповіді.

Публікації:

1. Огляд технологій утилізації відходів скла / Король Т.О., Борисовська О.О. // Матеріали XVI Всеукраїнської студентської науково-технічної М 34 конференції «Сталий розвиток міст» (88-ї студентської науково-технічної конференції ХНУМГ ім. О. М. Бекетова) : в 4-х ч. / Ч. 2. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023, С. 638-640.

2. Огляд методів переробки та утилізації відходів скла / Король Т.О., Борисовська О.О. // Тези студентської науково-технічної конференції «Тиждень студентської науки - 2023» (24 – 28 квітня 2023 р.). Дніпро : НТУ «Дніпровська політехніка», 2023, С. 280-281.

1. АНАЛІЗ СИТУАЦІЇ У СФЕРІ ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ СКЛА В УКРАЇНІ

1.1 Скло, його основні характеристики та технологія виготовлення

Виготовлення скла – це стародавнє ремесло, яке практикується протягом багатьох століть. Вважають, що найдавніші вироби зі скла були виготовлені приблизно в 3 тисячолітті до нашої ери. Процес виробництва включає нагрівання піску, соди та вапняку до розплавленого стану. З отриманої маси формують виріб і поступово охолоджують його. Сьогодні скло використовується практично у всіх сферах життя, зокрема в будівництві, транспортній галузі та виробництві споживчих товарів.

Склом називаються всі аморфні тіла, отримані шляхом переохолодження розтопленої маси, незалежно від її складу і температури тверднення, і які набувають механічних властивостей твердих тіл в результаті поступового збільшення в'язкості. А процес переходу з рідкого стану в склоподібний повинен бути зворотнім [1].

За сферою застосування розрізняють такі типи скла:

– Архітектурно-будівельне скло: листове скло, в тому числі візерункове, кольорове листове, ламіноване, загартоване; армоване; скляні блоки; піноскло.

– Порожне скло: тарне скло, сортове скло.

– Технічне скло: кварцове скло, електровакуумне скло, світлотехнічне скло, оптичне скло, хіміко-лабораторне скло, медичне скло, скляне волокно, скляні трубки та ін. [2].

Виробництво скла – це довготривалий процес, який потребує високого рівня енерговитрат й великої кількості сировини. Найголовнішим етапом виробництва є виготовлення скломаси. Вона виготовляється з однорідної суміші первинної та вторинної сировини (шихт) у високотемпературній плавильній печі. Склад скломаси значно впливає на якість кінцевого продукту.

Сировинні матеріали для виробництва скла поділяються на головні і допоміжні. Головні сировинні матеріали містять оксиди; їх вводять до складу шихти у вигляді природних сполук – кремнезему (SiO_2), глинозему (Al_2O_3), оксидів кальцію (CaO) і магнію (MgO), оксидів лужних металів (Na_2O , K_2O). Склад скла виражають в оксидах. В таблиці 1.1 показані хімічний склад будівельного віконного скла, сировина і роль оксидів у формуванні властивостей виробів [3].

Таблиця 1.1 – Вміст, роль і сировинне джерело головних оксидів скла [3]

Хімічний склад скла	Вміст оксиду, %	Призначення оксиду	Основна сировина
SiO_2	71,6...72,5	Утворює каркас скла	Пісок, пісковик, кварц, кварцит
Na_2O	13...15	Прискорює процес скло утворення	Кальцинована сода, сульфат натрію
CaO	6,5...9	Підвищує хімічну і термічну стійкість	Вапняк, доломіт, крейда, мармур
MgO	3,8...4,3	Підвищує хімічну і термічну стійкість	Доломіт, вапняк, крейда, мармур
Al_2O_3	1,5...2,5	Підвищує міцність, хімічну і термічну стійкість, збільшує теплопровідність	Глинозем, польовий шпат, каолін

Кварцовий пісок – це осадова порода, що складається більше, ніж на 90% з зерен кварцу. Пісок слугує основний компонент для виробництва скла, оскільки є джерелом діоксиду кремнію (SiO_2). Високоякісний кварцовий пісок повинен відповідати всім вимогам якості. Скляний пісок має білий колір із сіруватим або блідо-жовтим відтінком. Часто пісок має в своєму складі глинисті домішки, які надають піску жовтого або червоного кольору. Домішки, що містяться в піску впливають на якість скла, що буде виготовлене з нього.

Температура плавлення піску становить 1760°C . Така температура є занадто високою для економічно вигідного плавлення, тому для її зниження додають плавильний агент, наприклад, оксид натрію. Оксид калію допомагає уповільнити кристалізацію скла, надає йому блиск, покращує прозорість скла.

Кальцинована сода (Na_2CO_3) є основним джерелом флюсування оксиду натрію (Na_2O). Сульфат натрію додається як рафінуючий агент та окислювач.

Оксиди кальцію є джерелом природних карбонатів кальцію та підвищує хімічну стійкість скла. Магній (MgO) є джерелом магнію та знижує схильність скла до кристалізації. Борний ангідрид зменшує час варіння, підвищує стійкість до кристалізації.

Для забарвлення листового, будівельного і технічних стекел найчастіше застосовують молекулярні барвники — сполуки марганцю, кобальту, хрому, нікелю і купруму. Стекла забарвлюють також оксидами феруму, але в цьому випадку одержують бруднувате забарвлення. Тому як барвники їх застосовують тільки у виробництві тарних виробів. Марганець вводять у шихту з природною марганцевою рудою, що містить піролюзит MnO_2 . Технічні стекла забарвлюють чистим препаратом — марганцевокислим калієм KMnO_4 [4].

Барвники вводять в шихту для забарвлення скла. Рівномірно розчиняючись в скломасі, вони забарвлюють її в необхідний колір. Практикується фарбування звареної скломаси, в цьому випадку барвник вводять в неї за допомогою спеціальних прийомів або пристроїв в скловарної печі. За механізмом забарвлення розрізняють барвники молекулярні, іонні і колоїдні. Види барвників називаються відповідно до механізму їх розчинення в скломасі [2].

Як сировину для різних галузей скляної промисловості можуть використовуватись тверді неорганічні сполуки, природні мінерали або синтетичні продукти, найпоширеніші з них наведені у табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Найпоширеніші види сировини, що використовуються у скляній промисловості

Сировина	Характеристика
Пісок кварцовий	Основне джерело SiO_2
Карбонат натрію (кальцинована сода- Na_2CO_3)	Основне джерело Na_2O
Вапняк (CaCO_3) та вапно	Основне джерело CaO
Доломіт ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$)	Джерело CaO та MgO

Закінчення таблиці 1.1	
Нефеліновий сієніт ($3\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{K}_2\text{O} \cdot 4\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{SiO}_2$)	Основне джерело оксид алюмінію у прозорому склі
Оксиди алюмінію	Джерело Al_2O_3
Оксид цирконію	Джерело ZrO_2
Карбонат калію	Джерело K_2O
Колеманіт	Джерело бору
Бура	Джерело бору
Борна кислота (H_3BO_3)	Джерело бору
Польовий шпат	Джерело Al_2O_3
Оксиди свинцю	Джерело PbO
Карбонат барію	Джерело BaO
Базальт	Алюмосилікат
Натрій безводний сульфат	Окислювач, джерело Na_2O
Сульфат кальцію і гіпс	Окиснювач, вторинне джерело CaO
Нітрат натрію	Окислювач, джерело Na_2O
Калійна селітра	Окислювач, джерело K_2O
Оксид сурми	Окислювач
Оксид арсену(III)	Окислювач
Вуглець	Відновлювач
Оксид заліза (Fe_2O_3)	Барвник
Сполуки марганцю	Барвник
Сполуки кобальту	Барвник
Сполуки хрому	Барвник
Сполуки нікелю	Барвник

Сьогодні скловаріння – це високоавтоматизоване виробництво, яке включає в себе декілька етапів, що наведені на рис. 1.1 у вигляді блок-схеми.

Після визначення точного співвідношення сировини за рецептурою, її подають у піч, де відбувається плавлення. Плавлення здійснюється в печах різних типів і розмірів, що використовують різні види палива та мають різну енергоємність. Температура, що необхідна для виготовлення скломаси залежить від особливостей рецептури.

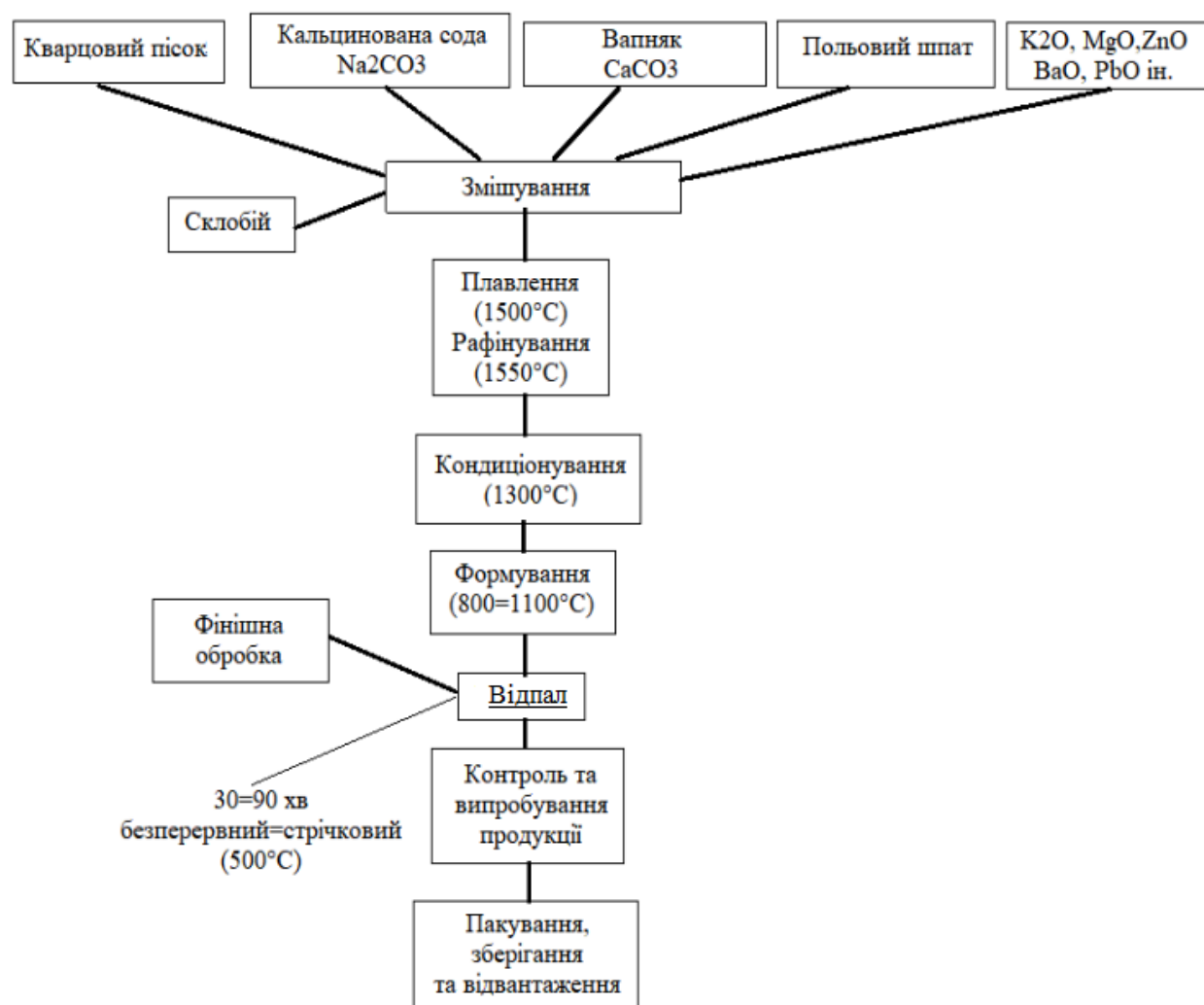


Рисунок 1.1 – Виготовлення скла

Процес скловаріння можна поділити на наступні етапи: плавлення, освітлення розплаву, гомогенізацію та охолодження розплаву.

Близько 80% скла, що виробляється у світі, виплавляється в регенеративних печах. Ці печі включають електричне форсування, яке збільшує продуктивність, зменшує споживання палива та викиди на заводі. Рафінування (очистка) – це етап, на якому розплавлене скло звільняється від бульбашок, гомогенізується (доводять до однорідного стану) та термічно обробляється. Цей процес відбувається в плавильній камері. Бажана якість і властивості скла залежать від тривалості плавлення. Середній час перебування розплавленого скла в печі становить від 24 до 72 годин. Плавлення сировини споживає близько 60-70 відсотків загальної енергії, що використовується для

виробництва скла [5].

Остаточного вигляду виріб набуває під час формування. Розплавленому склу надають бажаної форми за допомогою різних технік, таких як: витягування, видування, прокатка, пресування.

Потім вироби проходять через контрольований процес охолодження, відомий як відпал, який дозволяє склу охолонути до кімнатної температури. Виріб поступово охолоджують для зняття напруження в матеріалі.

Процес відпалу більшості скловиробів проводять в чотири стадії.

1. Стадія попереднього нагрівання або охолодження (відрізок 1) □ вироби повинні бути доведені до заданої вищої температури відпалу зі швидкістю, що не викликає їх руйнування.

2. Стадія постійної температури (відрізок 2) вироби витримуються при вищій температурі відпалу протягом часу, достатнього для заданого зменшення напружень.

3. Стадія повільного охолодження (відрізок 3) □ вироби охолоджуються з досить малою швидкістю, що не допускає виникнення нових залишкових напруг, що перевищують задані для цієї стадії.

4. Стадія швидкого охолодження (відрізок 4) вироби охолоджуються зі швидкістю, яка забезпечує допустимі тимчасові напруги [2].

Заключним етапом є відсортовування бракованої продукції. Вироби тестують оптичними, механічними, електронними методами. Зазвичай, підприємства, що виготовляють скло мають замкнуту систему виробництва.

Некondiційне скло, яке має тріщини, сколи, деформації та інші дефекти подрібнюється та додається до шихти для повторного плавлення.

1.2 Сучасний стан у сфері поводження з відходами скла в Україні

1.2.1 Утворення та переробка скла у складі твердих побутових відходів

Україна має ряд масштабних проблем у сфері поводження зі твердими побутовими відходами. Уряд України прийняв низку законодавчих ініціатив

для вирішення ситуації, що склалася з утворенням, накопиченням, переробленням, утилізацією та захороненням відходів. Для цього було прийнято ініціативу «Про схвалення Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року», Розпорядження Кабінету Міністрів України; Стратегія від 08.11.2017 № 820-р.

З 1 січня 2018 року, згідно із Законом України «Про відходи», заборонено захоронення на полігонах неперероблених побутових відходів, а також українці в обов'язковому порядку повинні сортувати сміття і викидати його у відповідні баки. Закони та новенькі баки повинні допомогти за 14 років зменшити обсяги сміття щорічно з 95% (2016 рік) до 30% (2030 рік), однак до 2019 року вдалося зменшити обсяги тільки на 1,2% [6].

В Україні за 2020 рік утворилось понад 54 млн. м³ побутових відходів, або понад 10 млн. тонн, які захоронюються на 6 тис. сміттєзвалищ і полігонів загальною площею майже 9 тис. га. Завдяки впровадженню в 1725 населеному пункті роздільного збирання побутових відходів, роботі 34 сміттесортувальних ліній, 1 сміттєспалювального заводу і 3 сміттєспалювальних установок перероблено та утилізовано близько 6,3 % побутових відходів, з них: 1,7 % спалено, а 4,6% побутових відходів потрапило на заготівельні пункти вторинної сировини та сміттєпереробні лінії [7].

Скло – це матеріал, що має можливість повного циклу багаторазової переробки в нову сировину без втрати експлуатаційних якостей матеріалу. Важливою сировиною у виробництві скла є склобій (бите скло). Його використання, як вторинної сировини призводить до:

- зниження витрат первинної сировини;
- скорочення викидів CO₂, що утворюється під час плавлення сировини; продовження терміну служби скловарної печі, через нижчу температуру плавлення склобою;
- зменшення обсягів споживання енергоресурсів (зазвичай: природного газу, нафти) для плавлення сировини, а значить, і викидів NO_x, SO₂ та твердих частинок у навколишнє середовище;

– скло майже на 100% придатне для вторинної переробки, зі 100 кг склобою можна виготовити 100 кг склотари [5].

Державною службою статистики України не публікувалися дані про загальний обсяг утворення відходів та поводження з ними за 2021-2022 роки. Остання наявна інформація про поводження з відходами за класифікаційними угрупованнями державного класифікатора відходів (ДК 005-96) у 2020 році – 462 373 504 тон [8], кількість утворених відходів скла наведена в табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Обсяг відходів скла за класифікаційними угрупованнями Державного класифікатора відходів (ДК 005-96) [8]

Найменування відходів	Утилізовані відходи, тонн	Спалені відходи, тонн	Видалені відходів у спеціально відведені місця та об'єкти, тонн
Склобій пляшковий	6781,8	-	-
Скло порожнє, у т. ч. тара скляна звичайна та кислототривка, некондиційне	216,7	-	378,2
Склобій скла термостійкого	-	-	9,9
Скло органічне зіпсоване, забруднене або неідентифіковане, його залишки, які не можуть бути використані за призначенням	-	-	3,1
Скло листове оброблене зіпсоване, забруднене або неідентифіковане, його залишки, які не можуть бути використані за призначенням	-	-	1,8
Скло оптичне безбарвне зіпсоване, забруднене або неідентифіковане, яке не може бути використане за призначенням	4,0	-	-
Бій скла технічного та скловиробів, що не підлягає спеціальному обробленню	62,3	-	17,5
Тара скляна використана та бій скла (за винятком відходів тари, що утворилися під час перевезень, та тари аптечної)	1,7	28,7	0,6

Тара металева, скляна, дерев'яна, текстильна, картонна та паперова, яку використовують під час перевезень, зіпсована, чи відпрацьована, чи забруднена	73,7	102,5	-
---	------	-------	---

Перероблення відходів скла – це комплексний захід, що допомагає зменшити навантаження скляної промисловості на навколишнє середовище.

Виділяють два цикли перероблення:

– Замкнутий цикл. Це процес, у якому скло переробляється у той же самий продукт (наприклад, пляшка). Такий цикл перероблення потребує вторинної сировини відсортованої за кольорами та з високим ступенем очищення від сторонніх речовин (кераміки, каміння, металів тощо). Для виготовлення скломаси використовують різні схеми технологічного процесу, що відрізняються один від одного співвідношенням склобою і шихти та температурою плавлення.

– Відкритий цикл – це перероблення вторсировини в інший продукт. Скло, яке сильно забруднене та непридатне для кольороподілу, суміш склобою з різних матеріалів й скло, що непридатне до переробки (кераміка, дзеркала, жаростійке і ударостійке скло (триплекс), віконне скло) потрапляють на полігони.

Даний спосіб утилізації є економічно доцільним для вторинної сировини, що складається з суміші скляних відходів, оскільки виключає необхідність сортування. Така сировина має перспективу використання, як основний матеріал у будівельній промисловості (виробництво склопластику, піноскла, скловолкна, тощо), для будівництва дорожніх покриттів, при виробництві оздоблювальних матеріалів і т.д.

Стан поводження зі скляними відходами в Україні є складним питанням. Наразі спостерігається дефіцит сировини для вторинної переробки скла. З початку 2021 року країна імпортувала 5 тис тонн цієї сировини на 9,8 млн грн, в основному з Білорусі та Латвії [10]. Однак, тонни відходів склобою в середині

країни потрапляють на сміттєзвалища. Утилізація склотари передбачає збір і сортування скла за кольором та матеріалом. Успіх правильного збору сортування та утилізації відходів починається з активності населення. На сьогоднішній день в Україні відсутня культура сортування.

Наразі низька поінформованість населення про важливість переробки відходів та відсутність належної інфраструктури для збору, сортування та переробки сміття призвели до того, що велика кількість скляних відходів, які можуть бути використані, як вторинна сировина, вивозиться на сміттєзвалища, що займають цінні площі й створюють низку екологічних проблем.

Існує декілька потенційних рішень для покращення стану поводження зі скляними відходами в Україні:

- Створення комплексної системи поводження зі відходами скла, що включає впровадженню різних схем належного збору, сортування (впровадження системи збирання й виділення склобою з ТВП) та переробку.
- Приділення великої уваги підвищенню рівня знань про важливість переробки відходів та правильного сортування серед населення за допомогою комунікації й освітніх кампаній.
- Використання інноваційних технологій для переробки склобою, просування продукції, що виготовляється з переробленого скла, та розвиток моделі кругової економіки, яка заохочує повторне використання скла в інших галузях промисловості.

1.2.2. Утворення відходів скла у складі будівельних відходів внаслідок бойових дій

Війна чинить руйнівний вплив на велику кількість аспектів життя, в тому числі і на будівельну галузь. Новим значним джерело відходів в Україні є руйнування через військову агресію росії. За даними обласних військових адміністрацій, з кінця лютого до середини жовтня поточного року (2022) на доступних для підрахунку територіях зафіксовано майже 160 тисяч

пошкоджених або зруйнованих об'єктів, з яких 60 відсотків зруйновані більш, ніж наполовину. Серед пошкоджених об'єктів нерухомості переважають житлові приміщення – понад 142 тисячі [10]. На даний момент немає точного обліку кількості і складу відходів, що утворились від руйнувань будівель.

На деокупованих територіях Київської, Чернігівської та Сумської областей від руйнувань будівель та споруд через дії РФ утворилося близько 15,2 млрд тонн відходів. Окрім того, в Україні знищено понад 200 тисяч легкових і вантажних автомобілей, які наразі складують у спеціально відведених місцях [11].

В країнах Європейського Союзу на законодавчому рівні було впроваджено методи, що забороняють та обмежують вивезення на полігони відходів, які можуть бути перероблені. Було створено систему поводження з будівельними відходами, яка включає в себе демонтаж, сортування, накопичення, переробку та виготовлення вторинних матеріалів.

До війни в Україні утворилось приблизно 10 млн. тонн побутових відходів за рік, що були поховані на 6 тисячах сміттєзвалищ і полігонів площею 9 тис. га. Ресайклінг відходів, що були утворені внаслідок руйнувань, є доволі проблематичним. Відходи змішані і складаються з залишків різних матеріалів, що значно ускладнює їх сортування. Захоронення на полігонах великого масштабу відходів є нераціональним і може призвести до екологічної катастрофи.

Для вирішення проблеми відходів, що утворились у зв'язку з пошкодженням будівель в наслідок бойових дій та терористичних актів, Кабінет Міністрів 27 вересня 2022 року затвердив «Порядок поводження з відходами від руйнувань будівель та споруд» [12]. Відповідно до цього Порядку операції з поводження з відходами від руйнувань включають:

- первинне розчищення територій (збирання відходів від руйнувань, зокрема за можливості – сортування окремих компонентів відходів від руйнувань);
- перевезення (транспортування) відходів від руйнувань від місця їх

утворення до об'єктів поводження з відходами або місць тимчасового зберігання;

- остаточне (після виконання робіт з демонтажу пошкоджених (зруйнованих) об'єктів) розчищення та прибирання територій (у разі потреби);
- зберігання відходів від руйнувань на місцях тимчасового зберігання або на інших об'єктах поводження з відходами (до їх утилізації чи видалення);
- оброблення (перероблення) відходів від руйнувань та/або їх знешкодження (у разі потреби);
- утилізація відходів від руйнувань (використання відходів як вторинних матеріальних чи енергетичних ресурсів);
- видалення відходів від руйнувань, включаючи їх захоронення [12].

Сортування – це найважливіша і одночасно найважча процедура в утилізації будівельних відходів, що утворились від руйнувань. Вона займає найбільше часу і потребує докладання людських зусиль, оскільки тонни відходів потрібно перебрати вручну, тому що під завалами можуть знаходитись боєприпаси, що не розірвалися.

Будівельні відходи повинні бути класифіковані і поділені за відсотковим складом. Необхідним є проведення лабораторних досліджень, що визначають властивості, структуру та токсичність матеріалів відходів.

Відходи скла можна використовувати для:

- виготовлення світловідбивних фарб, що використовують для дорожньої розмітки.
- Будівництва. Використання відходів скла у будівництві виключає необхідність сортування суміші за кольорами та використання специфічного обладнання. Склобій очищається від сторонніх домішок, подрібнюється та поділяється на фракції. В дорожньому будівництві наявність скла в суміші асфальтобетону покращує здатність утримувати тепло, так можна отримати більш щільне дорожнє покриття, ніж у разі застосування звичайного асфальту [13].
- Для виробництва цегли. Додавання скла (у співвідношенні 30%

склобій, 70% глина) до традиційних сумішей для глиняної цегли значно покращує водопоглинальні властивості цегли та її міцність.

– При виробництві бетону. При виготовленні бетону фракції скла, що мають розміри понад 5 мм застосовують у якості великих заповнювачів (заміна щебеню), фракції менш як 5 мм – дрібний наповнювач, скляний пил – як зв'язувальний матеріал [13].

1.3 Екологічні проблеми виготовлення скла та екологічні наслідки потрапляння відходів скла у навколишнє природне середовище

До екологічних проблем виробництва скла насамперед належать такі:

- утворення твердих відходів (склобій, сировинні матеріали підготовки шихти у вигляді пилу);
- суспензії та шлами (шлами й осади систем підготовки шихти та очищення стічних вод);
- газоподібні викиди (гази скловарних печей, що містять оксиди азоту, сірки й вуглецю, димові гази сушильного цеху, газова фаза та повітря зі стадій відпалу й обробки скловиробів) [13].

Виробництво скла відбувається в плавильних печах, основними джерелами енергії для яких є мазут, природний газ та електроенергія. При плавленні скла в атмосферу потрапляють оксиди азоту, тверді частинки, діоксид сірки, галогеніди, хлориди, фториди і метали, що містяться в сировині як домішки. Викиди печі також містять пил (виникає в результаті випаровування і подальшої конденсації летких матеріалів шихти).

Родовищ кварцового піску на Землі доволі багато, але не всі вони відповідають критеріям якості промисловості. Природній кварцовий піски, що складається на 90% з кварцу, зустрічається дуже рідко. Скляна промисловість є одним з основних споживачів кварцового піску, але його використання, як основної сировини у виробництві скла є обмеженим. Пісок повинен відповідати всім вимогам та критеріям.

Найчастіше пісок містить домішок більше, ніж допускається нормами та стандартами, тому піски збагачують (видаляють із них сторонні домішки). Для виготовлення скла потрібен якісний, чистий пісок з розміром фракції до 0,5 мм.

Вода на підприємстві використовується для промивання та охолодження і може бути використана повторно та легко очищена. Загалом, виробництво скла не створює значних проблем із забрудненням поверхневих та ґрунтових вод.

Скло є одним з найпоширеніших пакувальних матеріалів. Воно набуло широкого використання в харчовій, парфумерній і медичній промисловостях. Скло використовують для виробництва посуду, освітлювальних приладів, предметів декору. Головною перевагою скла перед іншими пакувальними матеріалами є легкість його переробки та повторного використання. Використання склобою, як вторинної сировини допомагає скоротити кількість первинної сировини, зменшує обсягів споживання енергоресурсів, що потрібні для плавлення сировини, а значить, і викиди шкідливих речовин в атмосферу. Рівень повторного залучення відходів скла для виготовлення пакувальних матеріалів є дуже низьким. Для пакування деяких види продукції потрібен високий ступінь чистоти скла, наприклад, для парфумерних виробів, косметики, на ринку алкогольних напоїв і т.д., склобій не може бути використаний в повному обсязі, через суміш скла різних кольорів.

З кожним роком кількість утворених скляних відходів зростає, але частка утилізації відходів залишається маленькою. Значні обсяги скла потрапляють на полігони твердих комунальних відходів та несанкціоновані звалища. Це призводить до зростання площі земель, що виведені з господарського обороту для захоронення твердих побутових відходів (ТПВ).

Відходи скляної промисловості мають значну екологічну небезпеку для навколишнього середовища. Скло може піддаватись вилугуванню (вимиванню) атмосферними опадами. Іони, що вимиваються водою, забруднюють ґрунт та ґрунтові води. Наприклад, з натрій-кальцієвого скла вимиваються іони натрію та кальцію. Великі концентрації цих солей підвищують рівень засоленості ґрунту. Це серйозна проблема, що призводить

до деградації ґрунтів. Крім того, солі потрапляють до ґрунтових вод і погіршують їх якість. Сполуки свинцю (II) потрапляють в навколишнє середовище зі скла, що містить свинець. Ґрунт, що забруднений важкими металами має дуже низьку тенденцію до самоочищення. Таке забруднення призводить до зміни щільності ґрунту та пришвидшує розвиток ерозії. Надмірний вміст у ґрунті свинцю призводить до зменшення різноманіття мікробіоценозів. Великі концентрації свинцю є причиною пригнічення росту рослин або повної загибелі видового складу рослинності. Дрібнодисперсний пил скла може переноситись вітром на великі відстані і наносити значну шкоду навколишньому середовищу поблизу полігонів.

Період розкладання відходів скла значно перевищує терміни розкладання інших відходів, наприклад, якщо пластикова пляшка може розкладатись 400 - 500 років, то скляна буде зберігати свої властивості більше ніж 1000 років, порівняльні дані зображено в табл. 1.4.

Таблиця 1.4 – Період розкладання ТПВ

Матеріал	Період розкладання
Харчові відходи	2-4 тижні
Папір	2-5 місяці
Деревина	10-15 років
Пластик	близько 200 років
Скло	понад 1000 років

Полігони ТПВ та сміттєзвалища займають значну площу та більшість з них не відповідають вимогам екологічної безпеки. Розміщення відходів скла на полігонах твердих побутових відходів може призводити до забруднення літосфери, гідросфери та атмосфери.

Найпопулярніший метод видалення скляних відходів є їх захоронення на полігонах і сміттєзвалищах. Це найдешевший й найлегший спосіб позбутися від скла. Під дією дощових опадів скло вилугується і чинить негативний вплив на водний баланс ґрунту та на його родючість.

Полігони ТПВ та сміттєзвалища займають значну площу та більшість з них не відповідають вимогам екологічної безпеки. Розміщення відходів скла на полігонах твердих побутових відходів може призводити до забруднення літосфери, гідросфери та атмосфери.

Найпопулярніший метод видалення скляних відходів є їх захоронення на полігонах і сміттєзвалищах. Це найдешевший й найлегший спосіб позбутися від скла. Під дією дощових опадів скло вилугується і чинить негативний вплив на водний баланс ґрунту та на його родючість.

Людство все частіше почало приділяти увагу проблемам утилізації, переробки й повторного використання побутових та промислових відходів. Нині основними напрями у сфері поводження з відходами є:

- Зменшення кількості відходів, що утворились. Для цього доцільним є удосконалення, розробка і впровадження систем управління відходами, що допоможуть зменшити їх кількість.

- Утилізація. До цієї сфери поводження з відходами можна віднести заохочення використання замкнутого циклу виробництва. Завдяки такому циклу відходи повертаються до технологічного процесу виробництва. Також сюди відносять схему організації виробництва, де відходи одного підприємства є вторинною сировиною для інших підприємств.

Кожен вид скла має свій ресурсний потенціал та специфічні властивості, що дають змогу підібрати відповідні технології для його ресайклінгу. Вторинна переробка скла може допомогти запобігти накопиченню відходів та мінімізації впливу на довкілля скляної промисловості. Впровадження використання склобою в шихті може допомогти скоротити кількість сировини, що використовують для виробництва первинного скла, зменшити витрати енергоресурсів та викидів в атмосферу від плавильних печей.

2. УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ СКЛА

2.1 Можливі шляхи утилізації відходів скла

2.1.1 Повторне використання

Запобігти утворенню великої кількості відходів можна декількома шляхами:

- Використання замкнутої системи виробництва, що передбачає максимальне використання матеріалів. Скляні вироби, що були розбиті на підприємстві та є некондиційними, можуть бути подрібнені та додані до шихти для повторної плавки та бути перетворенні в той же самий виріб (наприклад, віконне скло або віконне скло).

- Повторне використання скла – це повернення використаного скляного пакування на підприємство для повторного застосування.

Гарним прикладом раціонального використання та запобіганню утворення великої кількості відходів є оборотна скляна пляшка, що була розроблена для повторного використання та багаторазового заповнення.

Скляна тара – це витривалий і якісний пакувальний матеріал. Її використовується для води, алкогольних напоїв, дитячого харчування, баночки для консервації продуктів, флаконів для косметичної та парфумерної продукції тощо.

Серед переваг використання скла, як пакувального матеріалу, виділяють:

- Склотара може використовуватись необмежену кількість разів, що дуже відрізняє її від інших видів пакування.

- Хімічну стійкість матеріалу. Скло – це нейтральний матеріал. Воно майже не вступає в реакцію з вмістом тари, що добре впливає на властивості продукту та напоїв.

- Можливість вторинної переробки. Скло, що втратило свої експлуатаційні якості (було розбите або пошкоджене) може бути перероблене в нову пляшку.

- Бурштинове та зелене скло захищає напій від дії ультрафіолету, що негативно впливає на якість продукту.

- Герметичність. Такий вид пакування зберігає продукт від псування та бактерій.

- Скляні ємності за способом використання поділяють на декілька видів: пляшки та банки для харчових продуктів, пляшки для побутової хімії, флакони та тара для парфумерно – косметичної продукції, тара, що використовується для пакування лікарських засобів.

Скло, що контактує з продуктами харчування повинно відповідати вимогам санітарно – епідеміологічним показникам.

Для повторного використання пляшки розроблено комплекс заходів, що дозволить повернення тари на підприємство для повторного заповнення:

- Організування пунктів прийому використаної скляної тари. Зокрема, зазвичай присутній у пунктах прийому комунальних і промислових відходів контейнер, спеціально призначений для скла. Без сумнівів, такі заходи зі спеціального збору скла дають змогу значно спростити його сортування і вторинне використання.

- Зберігання відходів – тимчасове розміщення відходів на території пункту збору. Для уникнення вилуговування скляна тара повинна піддаватися збереженню на відкритих майданчиках не більше 5 місяців.

- Транспортування на підприємство.

- Обробка тари. Спочатку тара миється в пляшкомиїних машинах з використанням засобів для миття, обробляється розчином каустичної соди та проходить дезінфекцію з засобом на основі перекису водню.

- Перед повторним заповненням пляшка проходить перевірку для виявлення можливих пошкоджень і забруднень.

Весь процес, що проходить скляна тара за своє життя зображено на рис. 2.1.



Рисунок 2.1 – Багаторазовий цикл використання скляної пляшки

2.1.2 Додавання скла до шихти

Рециклинг скла – це дуже важливий процес для раціонального поводження з відходами скляної промисловості. Скло відрізняється від інших відходів можливістю повної переробки, що знижує негативний вплив скляної промисловості на довкілля. Скляні відходи, на відміну від полімерних, можуть бути багаторазово перероблені в новий продукт (наприклад, пляшок або банок) без втрати експлуатаційних властивостей матеріалу. Скляні відходи мають величезний ресурсний потенціал, як вторинна сировина, але сьогодні їх використання в Україні доволі обмежене.

Зазвичай, відходи комунальних та промислових підприємств являють собою суміш з різних компонентів (скло, органіка, каміння, тканина, дерево і т.д.). Виділення скла з такої суміші відходів для його подальшої переробки та утилізації є доволі складною та довготривалою задачею. Невелика вартість

вторинного скла робить процес вилучення скляних відходів від інших економічно нерентабельним. Використання склобою, що було вилучено з ТПВ, для додавання у шихту не є дуже популярним, оскільки такий вид сировини завжди є забрудненим і потребує додаткових витрат на його попередню обробку. Тому, найголовнішим етапом впровадження системи раціонального поводження з відходами та підвищення обсягів використання скла, як вторинної продукції, що буде додана до шихти, потрібне впровадження технологій сортування, що забезпечать збирання та сортування скла за кольором і видом.

Важливим критерієм використання склобою для повернення до технологічного процесу виробництва є подібність хімічного складу та кольору. Кожен відтінок скла має свій хімічний склад. При повторному використанні скляних відходів, що мають ідентичний склад та колір, можна отримати більш якісну сировину. Для кращої ідентифікації скляних відходів для їх подальшого перероблення використовують код переробки, що представляє собою спеціальний знак для позначення матеріалу з якого було виготовлено виріб. Вироби зі скла мають мати спеціальні знаки, що допомагають краще їх ідентифікувати, наприклад, на рис. 2.2 зображено код прозорого скла.

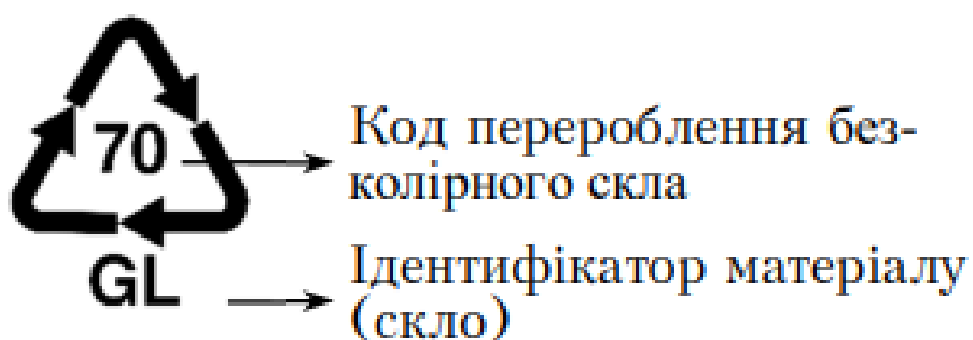


Рисунок 2.2 – Код переробки прозорого скла

Скляні відходи додаються до шихти тільки після відповідної підготовки. Для цього скло повинно пройти декілька етапів.

Виробництво скла, як товарної продукції, вимагає якісної вторинної сировини у вигляді скла, очищеного, подрібненого та сортованого за кольором і фракціями, всі процеси зображені на рис. 2.3. Операції повинні бути скореговані таким чином, щоб в результаті отримати нульові відходи. Далі сировину завантажують в приймальний бункер ковшовим навантажувачем. З бункера скlobій поступає до цеху переробки. Дозувальні віброживильники рівномірним потоком подають скlobій за допомогою конвеєра до зони ручного сортування від домішок. Магнітні домішки відбирають підвісним магнітним сепаратором. Каміні, папір, пластику і інше сміття відсортовують вручну. Після подрібнення в роторній дробарці скlobій надходить до сушильного барабану, де відбувається очистка від бруду та пилу.

З сушильного барабану скlobій поступає на вібросито, де відділяються фракції 0-5 мм та більше 20 мм. Фракція 0-5 мм найчастіше відправляються у відходи, а більше 20 мм – на валкову дробарку, приклад поділу скляного бою на фракції зображено на рисунку 2.4. Після вібросита скло поступає на конвеєр, де відбувається очищення від дрібних металевих домішок за допомогою магнітного барабанного сепаратора БС або магнітного шківного сепаратора Ш.



Рисунок 2.4– Фракційний поділ скла

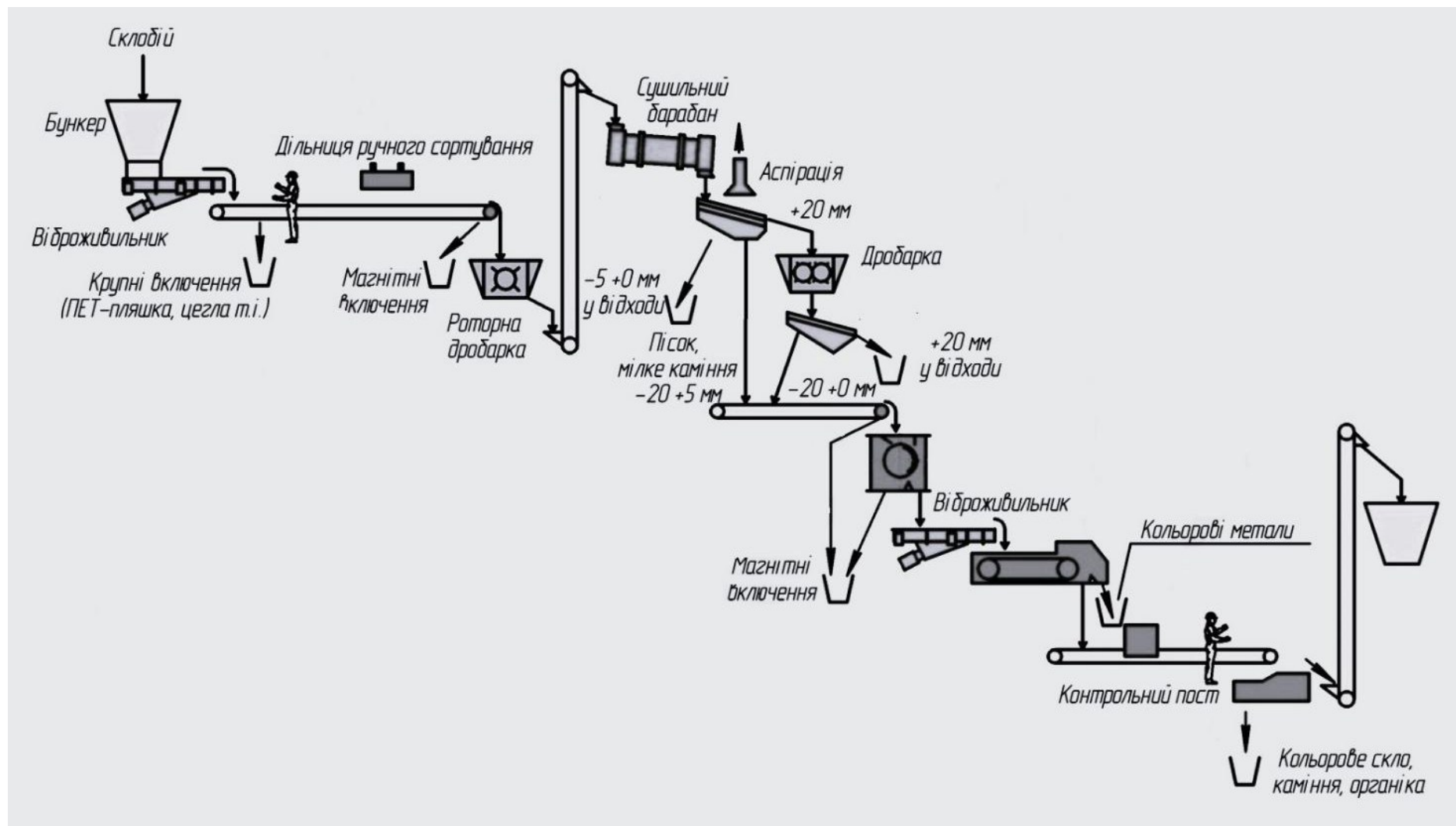


Рисунок 2.3 – Лінія переробки скла

Останній етап – видалення домішок кольорових металів на вихреструмовому сепараторі ВС. Скло поступає на віброживильник та проходить ручний контрольний пост.

Для отримання склобою заданого кольору використовують оптичні сортувальні машини. В залежності від програми переробки, відбувається поділ скла за кольорами: біле, коричневе, зелене. Після чого отримана сировина передається на склозаводи для процесу плавки. Складна промисловість має замкнуту систему виробництва. Це дозволяє максимально використовувати відходи, що утворились при виробництві. Скло, яке має тріщини, сколи, деформації та інші дефекти подрібнюється та додається до шихти для повторного плавлення.

Після чого отримана сировина передається на склозаводи для процесу плавки. Складна промисловість має замкнуту систему виробництва. Це дозволяє максимально використовувати відходи, що утворились при виробництві. Скло, яке має тріщини, сколи, деформації та інші дефекти подрібнюється та додається до шихти для повторного плавлення. Куплений склобій повинен відповідати всім стандартам якості. Сировинна при прибутті на підприємство повинна пройти хімічний лабораторний аналіз, що підтвердить її якість. За контроль відповідає лабораторія підприємства.

До скловарної печі надходить шихта, що складається з суміші піску, вапняку, соди, доломіту, польового шпату, фарбників, переробленого склобою. Плавлення суміші, рафінування, формування, випал, контроль якості продукції не відрізняється від стандартної схеми виготовлення скляних виробів без додавання до шихти скляних відходів.

Після чого отримана сировина передається на склозаводи для процесу плавки. Складна промисловість має замкнуту систему виробництва. Це дозволяє максимально використовувати відходи, що утворились при виробництві. Скло, яке має тріщини, сколи, деформації та інші дефекти подрібнюється та додається до шихти для повторного плавлення. Склобій є важливою сировиною у виробництві скла. Для економії ресурсів підприємство може закуповувати

склобій. Кожна тонна скляних відходів може замінити приблизно 1,2 тонни первинної сировини в рецептурі виготовлення більшості видів скла. Додавання склобою в шихту заощаджує енергетичні ресурси. Плавлення склобою потребує менше енергії та часу, ніж первинні сировинні матеріали, оскільки ендотермічні реакції, що пов'язані з формуванням скла, вже відбулись (10 % склобою можуть допомогти скоротити кількість енергетичних ресурсів, що використовується в скловарінні, на 2- 3 %).

Куплений склобій повинен відповідати всім стандартам якості. Сировинна при прибутті на підприємство повинна пройти хімічний лабораторний аналіз, що підтвердить її якість. За контроль відповідає лабораторія підприємства.

Процес виробництва скла з додаванням до шихти переробленого склобою включає в себе такі ж основні етапи, як і з використанням виключно первинної сировини. Залежно від виду продукції та її кольору варіюється склад суміші склобою в шихті. Для прозорого скла дозволяється використання прозорого та тарного скла, прозорого листового скла, інші види наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Склад суміші склобою

Вид сировини	Вид скла	Вміст, %
Змішаний склобій	Безбарвне	50
	Кольорове (коричневе, синє, зелене)	50
Прозорий склобій	Безбарвне	97
	Листкове	3
Листковий склобій	Листкове	100

Для утилізації скла шляхом додавання до шихти підходить перероблене листове скло та скляне пакування. Заборонене переплавлення в печах гартованого скла, кінескопів, триплексу, дзеркал, фасадного скла, скла, було армоване металевою сіткою, монітори, кераміка, скло люмінесцентних ламп.

До скловарної печі надходить шихта, що складається з суміші піску, вапняку, соди, доломіту, польового шпату, фарбників, переробленого склобою. Плавлення суміші, рафінування, формування, випал, контроль якості продукції

не відрізняється від стандартної схеми виготовлення скляних виробів без додавання до шихти скляних відходів.

2.1.3 Виробництво керамічних виробів

Керамічну продукцію отримують з глинястих сумішей, що виготовляються за допомогою формування, випалу або сушіння готових виробів. Ці матеріали набули широкого використання у будівництві (для облицювання фасадів та внутрішніх приміщень, тепло- та звукоізоляційні вироби, бетони та інші) через свою довговічність, витривалість, універсальність, легкість виготовлення.

Основним компонентом для виготовлення кераміки є глина. Глина – це осадова або гірська порода, що складається з глинястих мінералів (каолініт) та домішок. Утворюється в результаті механічного руйнування гірських порід. Глину можна класифікувати за декількома ознаками: хімічний склад, вміст та відсоток глинястих мінералів, пластичністю, кількість домішок, вогнетривкість. Головною властивістю глини є пластичність, яка залежить від складу сировини. Вона має властивість переходити в твердий стан.

Монтморилоніт має здатність інтенсивно поглинати воду у великих кількостях, збільшуватись у декілька разів, утримувати воду, при сушінні майже не відає воду. Цей компонент в глині позитивно впливає на усадку виробу. Усадка – це зменшення об'єму та розмірів під час сушіння або випалу.

Для покращення необхідних характеристик керамічних мас до глини додають різні допоміжні матеріали, такі як:

- Спіснювальні додають до глиняної маси для покращення формувальних властивостей, зменшення пластичності та усадки (шлак, шамот, пісок, зола, глина, тирса).
- Плавні зменшують температуру випалу й запікання глин (шпати, магнезит).
- Пароутворювальні використовують для створення легких виробів

(магнезит, доломіт, крейда, торф, вугілля).

– Пластифікуючі додають для підвищення пластичності глини (високопластичні глини, поверхнево-активні речовини, бентоніти).

Як спеціальні домішки, що покращують зовнішній вигляд виробу та збільшують його стійкість до зовнішніх факторів, використовують барвники, рідке скло, хлористий кальцій, глазур чи ангоб. Глазур – це покриття виробу, що має склоподібний вигляд. Виготовляється з кварцового піску, польового шпату або оксиду металу. Наноситься на поверхню виробу і закріплюється випалюванням. Ангоб – це поверхнєве, матове покриття з білої або кольорової глини. Будівельні керамічні вироби та матеріали мають різне призначення, список і класифікація яких наведена в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Кількість деяких сировинних матеріалів у масах керамічних виробів (%)

Вид кераміки	Виріб	Сировинні матеріали
Теракота, майоліка	Цегла, панелі, блоки, черепиця, плитка, цегла, дренажні труби, декоративні елементи	Пісок, зола, глина, пісок, шамот, каолін
Фаянс, фарфор, вкрита глазур'ю або ангобом	Плитка, цегла, фасадні елементи, декоративні елементи	Глина, польовий шпат, пісок, каолін
Порожниста	Кам'яні блоки, цегла, плитки,	Глина, діатоміт, магнезит трепел, шамот, кварцовий доломіт, пісок

Керамічна промисловість має чималий асортимент будівельних виробів. Незважаючи на велику кількість сировинних матеріалів з яких виготовляють кераміку та широкий асортимент керамічної продукції, виробляють її за одним простим технологічним процесом, що зображений у вигляді блок – схеми на рис 2.5 [14].



Рисунок 2.5– Схема підготовки ампул для утилізації у виробництві керамічної плитки

Схема виробництва плитки включає в себе: процес підготовки сировини, виготовлення керамічної маси, формовка виробів, ангобування, сушка та випалювання. Способи приготування керамічної маси поділяють на три види – напівсухий, пластичний, мокрий та шлікерний спосіб.

Напівсухий спосіб формування. Такий метод доцільно використовувати, коли вхідна сировина має щільну структуру та низьку вологість. Для такого методу глину та інші компоненти суміші завантажують у млини для подрібнення.

Далі масу піддають сушці у сушильних барабанах та перемішують до однорідної консистенції у глинозмішувачах. Така керамічна маса повинна мати вологість від 8 до 12 %. Для досягнення таких показників суміш зволожують парою. Керамічну суміш формують на пресах (тиск повинен бути від 10 до 35

МПа). Таким способом можна виготовити вироби, що мають чітко окреслену форму та розміри.

Пластичний спосіб формування включає в себе: перемішування в змішувачах глини та інших компонентів з водою для досягнення вологості мас від 18 до 25 %. Формування відбувається за допомогою стрічкового пресу, де керамічна маса гомогенізується та формується шнековим механізмом і виходить у формі бруска, що розрізається на вироби певних розмірів за допомогою сталеві струни. Пластичний спосіб є ефективним, коли глина, що використовується має підвищену вологістю та добре поглинає воду. Таким способом виготовляють цеглу.

Шлікерний спосіб застосовують для ретельного змішування сировинних компонентів. Для виготовлення керамічної маси глину подрібнюють та змішують з водою. Таку суміш називають шлікером і її вологість повинна складати 30-40%. За допомогою шлікерів можна створювати складні вироби (фарфор, фаянс, мозаїчну плитку). Готову суспензію заливають у гіпсові форми, які вбирати в себе зайву воду з суміші.

Для виготовлення керамічної плитки найбільшого поширення набув напівсухий та шлікерний спосіб формування.

Керамічна плитка, що вкрита шаром глазури або ангобу має кращі фізико-хімічні властивості і є більш стійкою до впливів навколишнього середовища. За рахунок різних барвників плитка, що вкрита покриття, може мати різне забарвлення.

Для виготовлення ангобів та глазури підготовлені (очищенні від домішок), висушені та подрібнені компоненти змішуються та подаються до бункерів печей для створення розплаву. Покриття поверхні виробів відбувається за допомогою автоматизованих установок, що розташовуються на лінії виробництва керамічних плит.

Сформовані вироби можуть бути піддані сушці штучним та природним шляхом.

Випалювання – це завершальна стадія виробництва. Для випалювання

кожного виду керамічних виробів встановлюють відповідну температуру випалювання. Випал відбувається в тунельних або кільцевих печах, циклічної або безперервної дії.

Після цього вироби перевіряються на наявність дефектів та пакуються.

Склобій в якості вторинної сировини в промисловості, що виготовляє продукцію на основі мінеральних сировин, відкриває можливості меншого залучення природних ресурсів, як первинної сировини. З погляду екології відходи зі скла, що потрапляють на звалища та полігони, негативно впливають на здоров'я людей та навколишнє середовище. З ампульного скла, під дією дощових опадів можуть вимиваються іони натрію та калію, що негативно впливають на гідро- та літосферу.

Наповнення ампул при операції ампулювання здійснюється таким чином, щоб фактичний об'єм наповнення ампул був більше номінального, так як потрібно забезпечити необхідну дозу при наповненні шприцу. Цей факт призводить до того, що у ампулах після проведення медичної процедури залишається певна кількість фармацевтичної речовини. Так, наприклад, при номінальному об'ємі лікарського препарату 10,0 мл фактичне заповнення ампули для нев'язких речовин складає 10,50 мл [15]. Фармацевтичні препарати містять складні органічні сполуки, що потрапляючи у навколишнє середовище наносять шкоду здоров'ю людини та негативно впливають на довкілля. Фільтрат полігонів забруднює поверхневі, підземні води, погіршує якість питної води та призводить до забруднення ґрунтів.

Розглянемо утилізацію відходів медичного скла у виробництві керамічної плитки. До медичних відходів, що можуть бути безпечно перероблені, відносять медичні скляні відходи категорії А. Згідно наказу МОЗ України від 08.06.2015 “Про затвердження Державних санітарно-протиепідемічних правил і норм щодо поводження з медичними відходами” [16] до медичних відходів категорії А відносять епідемічно безпечні, тобто ті, що не мали контактів з біологічними рідинами хворих. До цього списку відносять медичні відходи, що містять залишки медичних препаратів

(використані ампули та флакони), медичні препарати, що не можуть більше використовуватись в лікарській діяльності, наприклад, засоби в яких вийшов термін придатності.

Серед цих відходів найбільшу небезпеку становлять медичні скляні ампули. Вони застосовуються для одноразового пакування медичних засобів. При цьому обсяги випуску ін'єкційних лікарських засобів в ампулах відзначаються як надзвичайно великі. Так, тільки виробничі потужності фармацевтичної фірми «Дарниця» дозволяють випускати щорічно більше 320 млн ампул [15].

Виробництво керамічних плит – це підприємства, що мають великі обсяги виготовлення продукції і для цього використовують значну кількість природних ресурсів. Використання скляного бою в якості вторинної сировини в промислових виробництвах, що для виготовлення продукції використовують велику кількість первинної сировини та енергетичних ресурсів, дає можливість зменшити використання у процесах природних ресурсів.

Для виготовлення ампул на вітчизняних підприємствах застосовують нейтральне ампульне скло НС-1, найбільш хімічно стійке НС-3 і лужне безборне АБ-1 (для стійких у масляних розчинах речовин). Також в Україні для виготовлення ампул додатково існує марка нейтрального боросилікатного скла УСП-1. Крім того, у фармацевтичній галузі використовуються такі марки ампульного скла як СНС-1 (для світлочутливих речовин), НС-2А, ХТ-1 та ін [15]. Хімічний склад марок медичного скла приведений у табл. 2.3 [15].

Таблиця 2.3 – Хімічний склад суміші відходів ампульного скла, мас (%) [15]

Найменування компонента	Вміст компонента, %
SiO ₂	74,28
Al ₂ O ₃	6,36
MgO	0,04
CaO	2,60
BaO	0,29

закінчення таблиці 2.4

Na ₂ O	7,70
K ₂ O	0,70
Fe ₂ O ₃	0,05
TiO ₂	0,03
ZrO ₂	0,03
B ₂ O ₃	7,92

Такий метод утилізації передбачає організований збір, зберігання та транспортування ампул. Для виробництва керамічних виробів потрібна чиста вторинна сировина. Утилізація відходів скла для виготовлення керамічної плитки є доволі складною процедурою, оскільки потребує додаткових дій для знешкодження речовин, що містяться в ампулах. Першочерговими операціями по утилізації ампул є вилучення сторонніх домішок з суміші скляних відходів, промивка від лікарських препаратів та інших забруднень.

Сторонні домішки видаляються на дільницях ручного сортування. Промивка водою здійснюється у обертальних барабанних апаратах на низьких обертах. Далі стічні води направляють до відстійника для очистки від зважених домішок та використовуються знову для повторної промивки ампул.

Після промивки ампули висушують. Скляні відходи подаються до валкової дробарки для подрібнення до розмірів фракції 4 – 5 мм. Подрібненні ампули, що забрудненні лікарськими засобами знову поступають на промивку до обертального барабану. Суміш зі скла та лікарських препаратів надходить на вібросито (розмір отворів до 180 мкм) та розділяється на скляні залишки та стічні води з залишками ліків. Такі стічні води містять медичні препарати, що поступаючи у природні водойми накопичуються і чинять значну екологічну небезпеку для поверхневих вод та водної екосистеми. Тому, такі води потребують обов'язкової очистки перед скидом. Для знешкодження вилучених із ФВС (фармацевтичні відходи зі скла) фармацевтичних речовин доцільне використання електрохімічної деструкції (анодне окислення). Анодне

окислення дозволяє мінералізувати органічні речовини, отже, знизити негативну дію фармацевтичних речовин на довкілля. Для знешкодження розчинів фармацевтичних речовин, що містяться у ФВС, доцільним є спосіб електрохімічної деструкції [14]. Склобій висушують природнім шляхом, збирають та передають виробнику, як вторинну сировину.

За результатами дослідження [15], в медичній промисловості України є всі можливості забезпечити керамічну промисловість вторинною сировинною для виготовлення керамічних плит.

Результати аналізу хімічного складу відходів показують, що в цілому скло суміші використаних ампул можливо віднести до типу боросилікатного. Зважаючи на якісний та кількісний вміст оксидів, такі відходи доцільно використовувати у складі ангобів та полив у виробництві керамічної плитки [15]. За дослідженими показниками хімічного складу ампульного скла було розроблено ідеальні пропорції компонентів, що використовуються для виготовлення покриття. Як оптимальний за складом прийнятий наступний рецепт ангобу (мас. %): фріта ангобна – 18,0, глина марки «Веско-Прима» – 13,0, глинозем марки Г - 00 – 10,0, пісок кварцовий – 8,0, каолін КН - 83 – 11,0, цирконієвий концентрат марки КЦП – 10,0, склобій ФВС– 30,0, триполіфосфат натрію – 0,45 [17].

2.1.4 Виробництво скловолкна

Скляне волокно – це штучне, мінеральне волокно, що виготовляється з кварцового піску або вторинного скла. У вигляді тонких ниток скло гарно гнеться, не ламається при деформації. Скловолкно використовують у вигляді безперервних ниток, які мають різні діаметри та довжини або у вигляді різаного (штапельного) волокна. Зі скляного волокна виготовляють склотканину та склострічку, звуко-та теплоізоляційну скляну вату, склопластик, скломати.

Існують два основних види скляного волокна:

- Текстильне, котре надалі переробляється в пряжу і тканину. Це

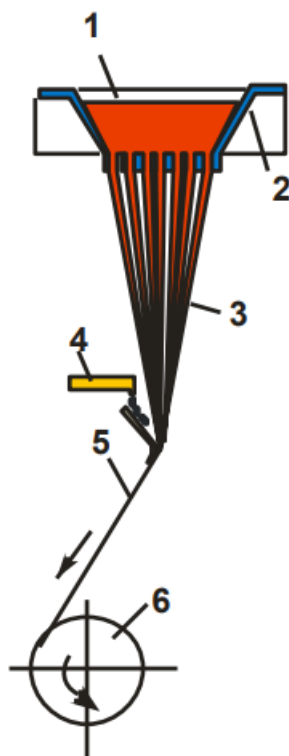
волокно може бути безперервним (довжиною 20 км і більше) і штапельним (довжиною від 5 до 50 см).

– Теплоізоляційне, що представляє собою скляну повсть і скляну вату. Воно може бути також безперервним і штапельним [4].

Скловолокно за структурою має гладку поверхню, циліндричну форму та малий діаметр. Такі волокна мають високу теплоізоляцію, хімічну та механічну стійкість.

Першим етапом виробництва скловолокна є виготовлення скломаси. Шихта (первинна сировинна або/та склобій) завантажується в скловарну піч, де вариться при температурі від 1200 до 1500°C.

Найпопулярнішим способом виготовлення безперервного волокна є метод фільтрального витягування, весь процес такого виробництва зображено на рис. 2.6 [18].



1 - скломаса; 2 - платиновий тигель; 3 - скловолокно; 4 - подача замаслювача; 5 - пучок скловолокна; 6 - барабан

Рисунок 2.6– Виготовлення безперервного скловолокна методом фільтрального витягування скла [18]

Такий спосіб передбачує проходження розплавленої скломаси через

платинову ванну, що має перфороване дно. Такі отвори називають фільєрами (ванна, що має 400 фільєрів вміщує до 2 кілограм скла). Нагрівання ванни відбувається за допомогою електричного струму.

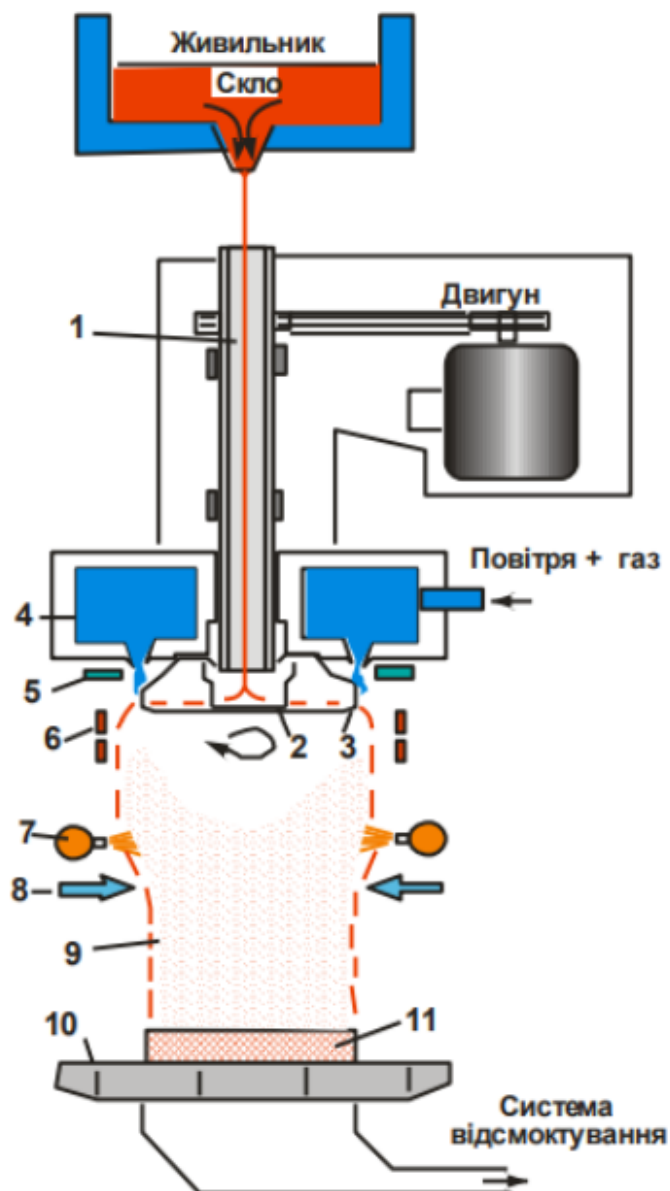
Перед намотуванням скловолокно обробляється замаслювачем. Він, з одного боку, служить в якості механічного захисного засобу, щоб зберегти поверхню скла в результаті тертя волокон, а з іншого боку, як засіб кращого ковзання при прядінні або як засіб зчеплення при подальшому виготовленні пластмас, зміцнених скловолокном [4]. Змашений пучок скляного волокна витягається до діаметру 5-6 мкм і намотується на барабан.

Для виробництва штапельного волокна використовують відцентрово – дуттьовий спосіб, схема виробництва представлена на рис. 2.7 [18].

Цей спосіб заснований на розтягуванні скляної маси за допомогою відцентрової сили та розтягуванні за допомогою газового пальника. Таке скляне волокно має діаметр 5-10 мкм.

Скломаса, що витікає із сопла безперервним тонким струмком, через порожнину порожнього вала потрапляє у розподільний кошик. Кошик обертається зі швидкістю 3000 об/хв. Під дією відцентрової сили скломаса подається від розподільника у вигляді тонкої плівки на внутрішню поверхню сорочки ротора 80 центрифуги. У сорочці ротора центрифуги є отвори, через які скломаса викидається у вигляді волокон. Відразу після виходу з ротора центрифуги відносно товсті волокна піддаються дії, струменя газу, що їх розтягує і що виходить із великою швидкістю і високою температурою з насадки кільцеподібної камери згоряння. Вони витягаються в тонке волокно (0,5÷10 мкм). За допомогою повітря волокна охолоджуються, що сприяє їхньому відхиленню долілиць [4].

В залежно від виду і призначення виробу зі скляного волокна вибирають склад вхідної сировини. До 50% компонентів, що входять до складу первинної сировини для виготовлення скляного волокна можуть бути замінені обробленим скляним босм.



1 - порожнистий вал; 2 - розподільний кошик; 3 - склорозбризкуючі кільця; 4 - високошвидкісні пальники; 5 - плівкоутворююче повітряне кільце; 6 - індукційне нагрівання; 7 - кільця, що розприскують, звязуючі і мастила; 8 - пневматичні сопла; 9 - пучок волокна; 10 - прийомний транспортер; 11 - волокнистий килим

Рисунок 2.7 – Виготовлення штапельного волокна відцентрово-дутьтовим методом [18]

Найголовнішим показником використання скла для такого виробництва є хімічний склад. Така вторинна сировинна повинна позитивно впливати на характеристики та не погіршувати якість вихідного виробу. Найбільш розповсюдженим є технічний склад сировини, що наведений у табл. 2.4 [4].

Зазвичай до складу скла входять оксиди бору, цинку, алюмінію, титану, барію та інші, що підвищують електроізоляційні властивості волокна, його

механічну і хімічну стійкість. Високу міцність мають волокна з кварцового та безлужного алюмоборосилікатного скла, а великий відсоток лугів, що містяться в розплаві, навпаки, роблять готові волокна менш міцними. Найбільшу стійкість до агресивного середовища має скловолокно з додаванням безлужного алюмо-боросилікатного скла. Електричні властивості скляного волокна погіршують оксиди лужних металів. Найбільшу міцність мають волокна, що були виготовлені з розплавленого при великій температурі скла і після витягування різко охолодженні.

Таблиця 2.4 – Хімічний склад суміші скла для виготовлення скловолокна (%) [4]

Найменування компонента	Вміст компонента, %
SiO ₂	47- 58
Al ₂ O ₃	17 -19
MgO	2,3 - 7,8
CaO	6,5-10,5
TiO ₂	2-9
Na ₂ O	2,3-4,5
K ₂ O	0,8-2,5
Fe ₂ O ₃	3,8-8,5
FeO	3-7
ZnO	0,05-1,0
Na ₂ O	2,2-4,6
SO ₃	0,01-0,20
P ₂ O ₅	1,1-2
MnO	0,11-0,20
SC ₂ O ₅	0,03-1,2

Температуростійкість волокон з безлужного скла досягає 700°C. Температуростійкість кварцового, кремнеземистого і каолінового волокон насамперед визначається їх високою температурою плавлення (1750÷1800°C).

При температурі $1450\div 1500^{\circ}\text{C}$ спостерігається спікання цих волокон (деформація в твердій фазі), але без розм'якшення [18].

Безперервні і штапельні скляні волокна мають склади, що відрізняються за своїми виробітковими властивостями (в'язкості і кристалізації). Скло для тонкого безперервного скляного волокна, одержуваного філь'єрним способом, повинно мати верхню межу кристалізації менше $1200\div 1250^{\circ}\text{C}$. В іншому випадку вироблення волокна ускладнюється через кристалізацію скла в філь'єрі, що підвищує обривність скляній нитки в процесі її витягування. В'язкість скла для цього виду волокна повинна відповідати інтервалу $101,5\div 102,6 \text{ Па}\cdot\text{с}$ [18].

Скло для теплоізоляційного скловолкна, яке одержують дутьовим способом, повинно мати в'язкість $4\div 5 \text{ Па}\cdot\text{с}$ при температурі $1350\div 1400^{\circ}\text{C}$. Верхня межа кристалізації цього типу скла може бути вище 1260°C , так як штапельне скловолкно виробляють дутьовим способом при температурах 1400°C і вище. Для формування волокна відцентровим способом можуть бути використані ще менш в'язкі стекла (типу мінераловатних). Для волокна, яке одержують штабиковим способом, можна використовувати стекла найрізноманітніших хімічних складів [18].

2.1.5 Виробництво піноскла

Піноскло (ніздрювате скло), виробляють із склобою або сировинних матеріалів, що використовують для виготовлення віконного скла. Газотворювач – помелений вапняк, кокс, антрацит – спучує масу під час нагрівання у печах при температурі 900°C , яка при охолодженні твердне [3].

Головними перевагами піноскла є довговічність, морозо-, біо- та водостійкість, негорючість, газонепроникність, невелика об'ємна вага. У великих промислових масштабах піноскло одержують порошковим способом. За допомогою такого методу отримують піноскло у вигляді плит, які поділяються на звук- та теплоізоляційні, що мають наступні властивості, які

наведені в табл. 2.5 [18].

Піноскло має гарні теплоізоляційні характеристики завдяки великій пористості. Пори, що заповнені повітрям погано проводять тепло.

Пори – це проміжки (порожнини) між елементами структури матеріалу. Сукупна інтегральна характеристика пор називається пористістю. Пори утворюються в матеріалах на різних стадіях виготовлення [18].

Таблиця 2.5 – Властивості теплоізоляційного піноскла [18]

Властивості	Піноскло	
	ізоляційно-будівельне	ізоляційно-монтажне
Об'ємна вага в кг/м ³	160-250	130-160
Коефіцієнт теплопровідності при 20°C у Вт/(м·К)	0,07-0,09	0,06-0,08
Водопоглинення в об. %	5-15	До 5
Межа міцності в МПа:		
на стиск	0,8-2,0	0,5- 0,8
на вигін	0,5-1,0	0,3- 0,4

Суть порошкового способу полягає в наступному. При нагріванні тонкоподрібненої суміші скла і газоутворювача (2÷3)% до температур ~850°C газу, що утворюються в результаті згоряння або дисоціації газоутворювача, або хімічної реакції між газоутворювачем і деякими компонентами скла, спінюють розм'якшене скло [18].

Технологічний процес порошкового порошкового з розібраного склобою включає:

1. Підготовка шихти. Приготування шихти – це перший етап виготовлення піноскла. Шихта повинна містити скляний бій, що має мінімальну кількість домішок – 45 %, первинну сировину (кварцовий пісок, крейду, польовий шпат, доломіт, соду) – 50%, допоміжні речовини (підсилувачі (оксид алюмінію), газоутворювач (застосовують вапняк, кокс, антрацит, кам'яне вугілля, тирсу) –5 %.

Вимоги до хімічного складу шихти наведені в таблиці 2.6 та 2.7. Сировина надходить на підприємство та проходить декілька етапів підготовки. Скло, що було зварене з первинної сировини гранулюють направляють на помел. Скляний бій надходячи на підприємство проходить етап мийки, сушки, помелу.

Для виготовлення шихти використовують кульові млини, де відбувається розмелювання сировини до стану порошку та її змішування. Далі шихта просіюється за допомогою вібросита від зайвих включень та великих шматків матеріалу.

Таблиця 2.6 – Характеристика піску та скла

Назва матеріалу	Назва компоненту та склад, %							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	SO ₃
Кварцовий пісок	80	13-17	1,5-2	3-4	0,7-1	0,7-0,9	-	-
Віконне скло	70	1,5-1,7	0,1	8	13,2-13	1	3,5-3,8	0,4

Таблиця 2.7 – Характеристика сировинних матеріалів шихти

Назва матеріалу	Назва основного компоненту та скла, %
Крейда	CaCO ₃ – 54 %.
Сода кальцинована	Na ₂ O – 58,0%
Доломіт	MgO – 21% CaO – 30 % SiO ₂ – 3,9% Al ₂ O ₃ – 1,6%
Польовий шпат	Al ₂ O ₃ – 1,5-2,5

2. Завантаження шихти в форми. Форми для піноскла є розбірними і виготовлені з нержавіючої сталі.

3. Спінювання в барботажній печі. Заповненні форми надходять у піч спінювання, де відбувається нагрівання до заданої температури. Показник температури встановлюється в залежності від складу скла. На цьому етапі форми проходять попередній нагрів, піч спінення, стабілізація (зниження

температури і припинення спінювання). Структура пор в значній мірі залежить від температури і терміну витримки.

4. Звільнення від форми.

5. Відпал. Піноскло піддають повільному відпалюванню (охолодженню). Швидкість і температура відпалу залежить від хімічного складу скла, структури та пористості піноскла. При охолодженні виробу після спінювання скло швидко твердішає і структура матеріалу стає більш стабільною.

6. Механічна обробка. Плити обрізають для надання їм певних розмірів та товщини..

2.1.6 Використання у дорожньому будівництві

Одним з перспективних напрямків рішення проблем накопичення відходів скла є використання його для дорожнього будівництва. Використання склобою, як вторинної сировини для будівництва доріг допомагає підвищити міцність шарів дорожнього одягу, зменшити вартість будівництва, скоротити кількості відходів, зменшити виснаження природних ресурсів та використання енергоресурсів.

Дорожній одяг – це багатошарова будівельна конструкція, що облаштовується на земельному полотні, забезпечує пересування транспортних засобів та сприяє зняттю навантаження від їх маси й перенесення його на ґрунт. Конструкцію основних елементів дорожнього одягу виконують відповідно до технологічної схеми згідно з рисунком 2.8.

Покриття – це верхній шар дорожньої конструкції, що має рівну поверхню, яка забезпечує можливість безперешкодного пересування автомобілів. Для забезпечення таких умов матеріал повинен протистояти деформації та зберігати суцільність. Таке покриття складається з двох шарів: шар зносу (тимчасовий), який потребує періодичного відновлення та основний шар покриття, що має високу міцність, стійкість та потрібен для забезпечення

рівності верхнього шару.

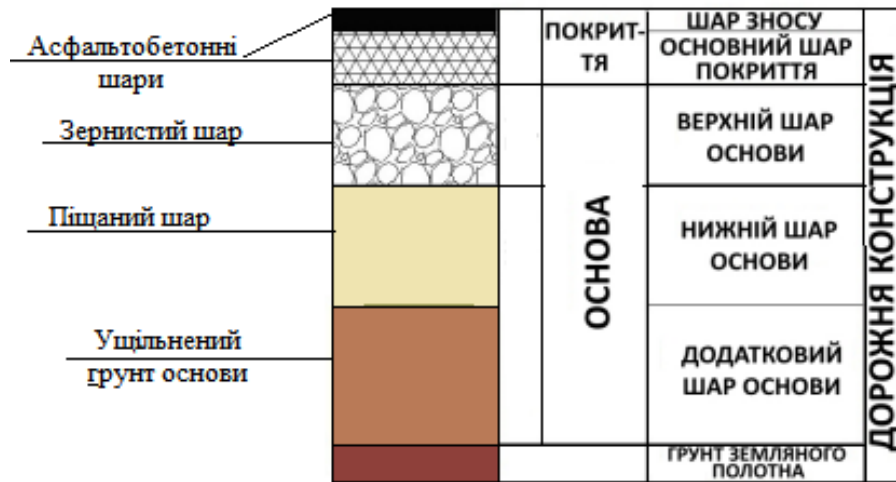


Рисунок 2.8 – Схема конструкції дорожнього одягу

Асфальтовий розчин виготовляють із суміші асфальтового в'язучого і піску. Асфальтове в'язуче одержують із нафтового бітуму і мінерального порошку (вапняк, доломіт, крейда, азбест, шлак тощо). Загальна кількість бітуму у розчині – 9...11 %. готують розчин на заводах; в казанах нагрівають бітум до температури 180 °С і перемішують з наповнювачами [3].

Бітум – це в'язуча речовина чорного кольору, що складається з високомолекулярних вуглеводнів та їх неметалевих похідних. Для будівництва використовують штучний бітум, що є кінцевим продуктом переробки нафти.

Асфальтобетонні шари виготовляють з асфальтового розчину (вміст бітуму 5-6%) і наповнювача.

Основа забезпечує рівну поверхню для верхнього покриття, зменшує напруження, що виникає під дією зовнішнього навантаження транспорту на поверхню, розподіляє навантаження на додаткову основу та ґрунт земельного полотна. Вона повинна бути жорсткою та міцною для ефективного зменшення напруження на ґрунтову поверхню до допустимих значень. Виконує функції дренажного (відводить надлишок вологи), теплоізоляційного (зменшує глибину та товщину промерзання ґрунту) та протизамулювального шару.

Наповнювач є важливим компонентом для покращення основних

характеристик матеріалу, підвищує щільність бетону, зв'язує бітум та зменшує його витрати. Як наповнювач можуть використовувати азбест, кам'яну крихту, пісок, гравій, щебінь, вапняк, доломіт і інші матеріали, які залежать від виду покриття. В табл. 2.8 наведені складові сумішей, що використовують для асфальтового бетону [19].

Таблиця 2.8 – Склад гідротехнічних асфальтових бетонів по масі, % [19]

Компонент	Піщаний асфальт		Дрібнозернистий асфальтобетон		
	ущільнений	литий	ущільнений	литий	пористий
Щебінь чи гравій до 15 мм	-	-	10...25	10...25	40...65
Кам'яна крихта до 5 мм	20...35	20...35	40...65	40...65	20...35
Середньозернистий пісок	40...65	40...65	15...25	15...25	15...25
Мінеральний порошок	15...25	15...25	15...25	15...25	0...5
Коротковолокнистий азбест	1...3	-	1...3	-	-
Бітум	7...12	12...18	6...10	10...15	4...7

Основа складається з декількох шарів:

- Верхній. Щебенева та гравійна суміш з укріпленням цементом.
- Нижній. Піщаний шар. Використовують крупнозернистий та середньозернистий річковий пісок з високим коефіцієнтом фільтрації. Ущільнюють самохідними пневмоколісними котками з поливкою водою.
- Додатковий. Ґрунтовий підстилаючий шар, що укріплюють органічними в'язучими компонентами або цементу. Шар ущільнюють та вирівнюють.

Для дослідження у роботі [20] було використане скло, що отримане в результаті дроблення скляної тари (лікеро – горілчаної та консервної). Випробування проводились з річковим піском. Встановлено, що за міцністю скляний бій (фракції 5-10 мм) має марку 600, а щебінь (така ж фракція) – 1200. Такі показники свідчать, що склобій має меншу міцність, ніж стандартний

наповнювач і його використання для дорожнього будівництва може бути ускладнене.

За модулем крупності (Мк) досліджуваний склобій відноситься до групи дрібних заповнювачів підвищеної крупності (Мк 2,83 - 4,0) За попередніми даними це може бути використано для підвищення модуля крупності річкового піску (Мк 1,37 - 1,67), який відноситься до групи дрібного заповнювача. А за рахунок часткового введення склобою в склад піску можна досягти поліпшення зернового складу піску [20].

Скляний бій може бути використаний у ґрунті додаткової основи. Скляний наповнювач підвищує міцність шару, допомогти покращити дренажні властивості шару та зменшити витрати первинних матеріалів і, як наслідок, знизити вартість будівництва доріг. Дослідження проводились для визначення надійності укріплення ґрунтів цементом з застосуванням мінеральних в'язучих компонентів. По результатам випробування міцності на стиск в ранні строки твердіння (3 доби) зразків ґрунту (глина легка пилювата) і склобою в кількості (25%:75%) при укріпленні суміші ґрунту зі склобом неорганічним в'язучим вапном спостерігається підвищення міцності зразка до 20 % по відношенню до зразків, виготовлених із суміші ґрунту з піском в співвідношенні (25%:75%, контрольні), відповідно [20].

Склобій покращує дренажні та морозозахисні властивості шарів. За результатами проведених досліджень по визначенню коефіцієнта фільтрації встановлено, що склобій доцільно використовувати, як матеріал для дренажних шарів. Підвищення коефіцієнту фільтрації дрібного піску при будівництві насипів за рахунок використання фракції склобою 1,25 - 0,63 мм, 63 - 0,315 мм в суміші з піском в співвідношенні 70 % до 30 % відповідно можуть підвищити коефіцієнт фільтрації дрібного піску на 50-70%.[21].

При використанні скляного наповнювача в шарах асфальтобетону (до 60% скла) зростає його міцність. За результатами дослідженням [20], що базуються на вивченні фізичних та механічних властивостей склобою, міцності, фільтраційних властивостей зразків суміші скла з різними компонентами шарів

дорожнього одягу та нормативних документів дорожнього будівництва, було зроблено висновок, що при влаштуванні дорожнього одягу, склобій може бути використаний практично у всіх шарах.

2.1.7 Виробництво бетону

Бетон – це штучний каменеподібний матеріал, результат тверднення раціонально дібраної суміші в'язучого, заповнювачів, води і, у разі потреби, спеціальних добавок. До затвердіння цю суміш називають бетонною [3].

Бетон – це один з найпоширеніших і економічних видів будівельних матеріалів. До складу бетонної суміші входять доступні та відносно дешеві матеріали – пісок, цемент, щебінь, гравій, гіпс, шлаки і золи тощо.

Бетон набув широкого застосування в сучасному будівництві завдяки ряду своїм властивостей: висока міцність бетону при довгій експлуатації, стійкість до руйнування, висока корозійна здатність та водонепроникність.

У зв'язку з численністю видів, складів і властивостей бетонів їх класифікують за такими ознаками:

- за основним призначенням – конструкційні; спеціальні (жаро- та хімічно стійкі, дорожні, гідротехнічні, декоративні, радіаційно-захисні, теплоізоляційні тощо);
- за видом в'язучого – цементні, вапняні, гіпсові, шлакові, спеціальні;
- за структурою – щільні, поризовані, ніздрюваті, крупно пористі;
- за розмірами заповнювача: крупнозернистий – із заповнювачем найбільшою крупністю від 10 до 150 мм; дрібнозернистий – із заповнювачем найбільшою крупністю 10 мм [3].

Для приготування бетонних сумішей та надання їм властивостей, що потрібні для будівництва (експлуатаційної міцності) використовують матеріали з певними характеристиками.

Цемент – це мінеральна речовина, що має порошкоподібний стан і

виступає в ролі головного сполучного компоненту в бетонних сумішах. При взаємодії з водою утворює міцний та твердий матеріал.

Вода для промивання компонентів, зволоження бетону та замішування розчину повинна бути чистою та не мати шкідливих домішок, що негативно вплинуть на компоненту бетонної суміші. Воду перевіряють хімічним аналізом та порівняльним випробуванням зразків бетонів, виготовлених на такій та питній воді.

В якості дрібного заповнювача використовують пісок річковий, морський та кар'єрний. Від характеристик форми піску, його мінерального складу та наявності в складі домішок залежить зчеплення цементу. Недоліком кар'єрного піску є підвищений відсоток глинястих і органічних домішок, що негативно впливають на характеристики бетону. Головною перевагою є низька вартість та вигляд піщинок. Шорстка поверхня і більш кутааста форма забезпечують гарне зчеплення цементу. Річковий та морський пісок є універсальними матеріалами, що містять менше домішок та мають високий ступінь очищення, але форма піщинок округла і гладка. Собівартість такого піску є доволі високою.

Використання піску з великою кількістю дрібних або крупних фракцій, класифікація пісків за фракціями приведена у табл. , значно збільшує кількість цементу у складі суміші і собівартість бетону.

Для визначити придатність піску для виготовлення бетону його перевіряють в лабораторії для визначення хіміко- мінерального складу, насипну щільність, вологість та фракційний склад. Пісок повинен на відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.7-210 [22] за зерновим складом, вмістом домішок, модулем крупності, показником водопоглинання та вологістю.

Як великий заповнювач використовують гравій або щебінь. Такий заповнювач займає близько 50 % від основної маси бетонної суміші. Якість матеріалу визначають за зерновим складом, формою зерен, вмістом глинястих та пилюватих домішок, міцністю і морозостійкістю.

Гравій – це зернистий, округлий, сипкий матеріал, який утворився в результаті природного руйнування (вивітрювання) щільних гірських порід.

Щебінь – сипкий матеріал, що має кутасту, шорстку форму. Виготовляють з гірських порід за допомогою їх дробіння, міцність зчеплення з цементом краща, ніж гравію.

Зерновий склад великих заповнювачів впливає на характеристики бетону. Для досягнення оптимального зернового складу щебінь або гравій просіюють через сита з різними діаметром отворів і поділяють на окремі фракції, вміст фракцій в суміші великих наповнювачах приведено в таблиці 2.9 [19], Відсортований матеріал додають до суміші згідно з технологією виробництва.

Таблиця 2.9 – Рекомендований вміст фракцій в крупному заповнювачі, % [19]

Найбільша крупність зерен, мм	Фракція заповнювача, мм				
	5...10	10...20	20...40	40...70	70...120
20	25...40	60...70	-	-	-
40	15...25	20...55	40...65	-	-
70	10...20	15...25	20...35	35...55	-
120	5...10	10...20	15...25	20...30	30...40

Для приготування бетонних сумішей, як крупний заповнювач використовують щебінь, що відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-34 [23].

Властивості та характеристики бетонних сумішей регулюють за допомогою неорганічні та/або органічні речовин. За основним ефектом дії добавки поділяють на наступні види:

- надають бетону спеціальних властивостей; □
- регулюють одночасно різні властивості бетонних сумішей та бетонів (поліфункціональної дії); □
- мінеральні порошки – замінювачі цементу [19].

Марка бетону – це показник, що визначає межа міцності бетону на стисках. Вимірюється цей показник в кг/см². Наприклад, для будівництва житлових і промислових об'єктів використовують бетон М300 або М350. Найменування деяких розповсюджених добавок перших трьох груп з вказівкою

їх кількості, що вводиться, наведено в табл. 2.10 [19].

Бетонна суміш – це поєднання всіх компонентів: цементу, заповнювачів та добавок, що дозують згідно технологічної карти, в одну ретельно перемішану суміш.

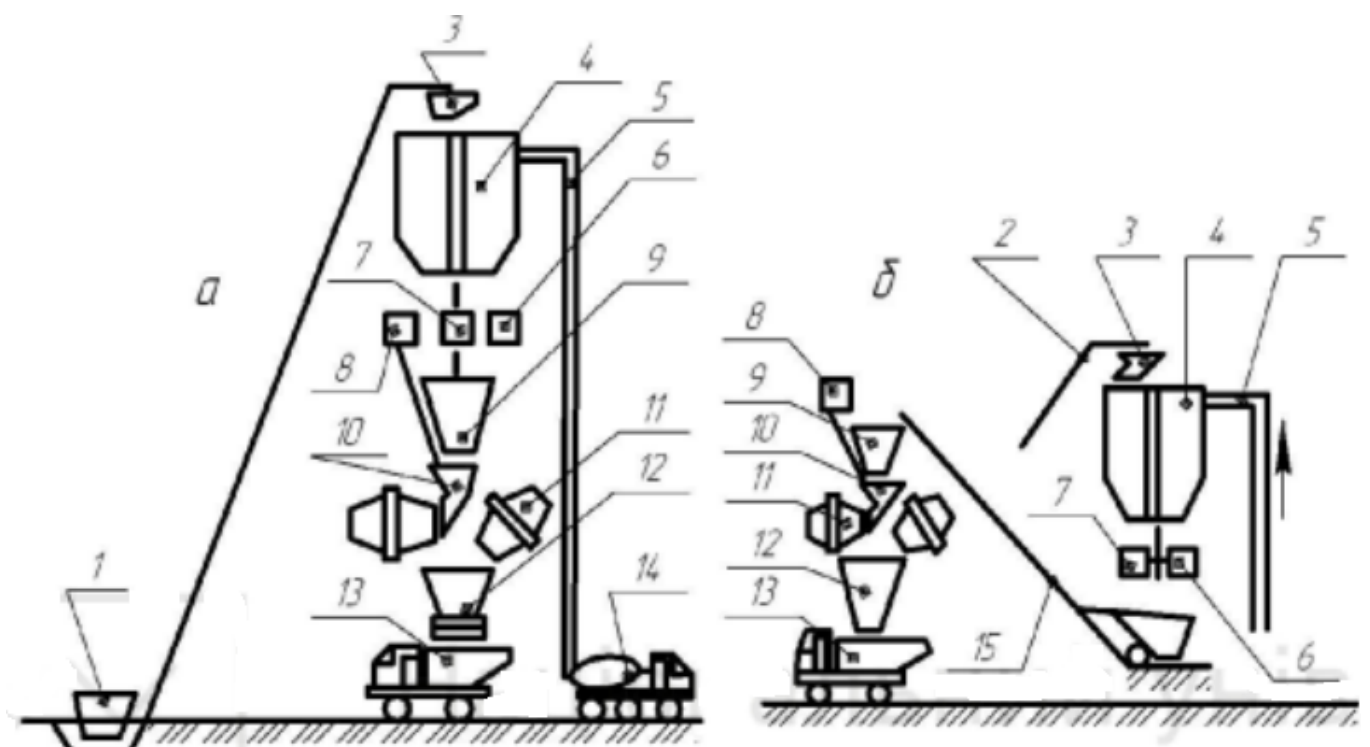
Таблиця 2.10 – Деякі види добавок [19]

Вид добавок	Найменування добавок	К-сть в розрахунку на суху речовину % (за масою) до цементу	Ефект
Пластифікуючі та суперпластифікуючі	Нафталін-формальдегідний суперпластифікатор	0,5...1	Підвищення рухомості бетонної суміші або зниження водопотреби
	Лінгосульфонати технічні	0,1...0,3	
	Лінгосульфонати технічні, модифіковані лугами	0,1...0,3	
	Пластифікатор форміатноспиртовий	0,2...0,8	
Пластифікуюче-повітря-залучуючі	Милонафт	0,01...0,2	
	Синтетична піноутворююча добавка	0,05...0,1	
Повітрявтягувальні	Смола нейтралізована повітрявтягувальна	0,005...0,035	Підвищення морозостійкості та корозійної стійкості бетону
	Смола деревинна омилена	0,005...0,035	
	Сульфанол	0,05...0,035	
Прискорювачі твердіння	Нітрат кальцію	0,3...1	Прискорення процесів гідратації та твердіння, забезпечення твердіння на морозі
	Сульфат натрію	0,3...0,8	
Протиморозні	Поташ	3...12	
	Нітрат кальцію	3...12	
	Сечовина	3...12	
Сповільнювачі тужавлення	Цукрова патока	0,1...0,2	Підвищення життєздатності бетонної суміші

Інгібітори корозії сталі	Нітрит натрію Нітрит-нітрат кальцію	0,5...3 0,5...3	Підвищення довговічності залізобетонних конструкцій
--------------------------	--	--------------------	---

Виготовлення бетону відбувається на бетонозмішувальних вузлах, мобільних бетонних вузлах (для невеликих будівельних об'єктів) або готову, суху суміш доставляють на будівельний майданчик і змішують з водою. Процес виробництва бетонної суміші включає декілька етапів, що зображені на рис. 2.9 [19].

Якщо від бетонозмішувальної установки до об'єкту будівництва відстань невелика бетонну суміш можуть транспортувати у автосамоскидах. На далекі відстані суміші доставляють спеціальними автомобілями – автобетонозмішувачами (готові компоненти завантажують у барабан, котрий постійно обертається і перемішує суху масу, вода додається на останніх етапах)



а – одноступенева; б – двохступенева; 1 – конвеєр заповнювачів; 2 – конвеєр подачі заповнювачів у витратні бункери; 3,9,10 – поворотна направляюча і розподільна воронки; 4 – витратні бункери; 5 – труба пневмоподачі цементу; 6 – дозатор цементу; 7 – дозатор заповнювачів; 8 – дозатор води; 11 – змішувач; 12 – бункер; 13 – автобетоновоз; 14 – автоцементовоз; 15 – шнековий підйомник

Рисунок 2.9– Технологічні схеми бетонозмішувальних установок [19]

Для виготовлення бетону потрібні основні компоненти: цемент, пісок, щебінь, вода, у таблиці 2.11 наведено склади деяких цементобетонних сумішей. Для покращення властивостей бетону суміш доповнюють добавками: стабілізатор, гідрофобізатор, пластифікатор і т.д.

Таблиця 2.11 – Склади цементобетонних сумішей на 1 м³

Марка бетону	Співвідношення і склад			
	Цемент, кг	Пісок, кг	Вода, л	Щебінь, кг
M100	215	750	155	1225
M150	255	750	155	1188
M300	335	636	155	1220

Підготовка сировинних матеріалів є важливим процесом для отримання якісної суміші. Якщо замішування відбувається при низьких температурах всі компоненти потребують беззв'язкового нагрівання.

Якість бетонної суміші залежить від точності дозування компонентів. Дозування сипких матеріалів виконують за масою. Пористі заповнювачі дозують за об'ємом з корекцією за масою. Похибка дозування цементу, води та добавок не повинна перевищувати $\pm 2\%$, заповнювачів $\pm 2,5\%$. На бетонозмішувальних вузлах використовують порційні або безперервні дозатори з ручним, напівавтоматичним або автоматичним управлінням. Дозатори з ручним управлінням використовують тільки на установках малої потужності [19].

Перемішування це основна стадія виробництва бетону. Від ретельності перемішування залежить міцність та однорідність виробу. Перемішують компоненти в бетонозмішувачах різних об'ємів – від 100 до 4500 л. Щоб утворилася однорідна суміш, потрібно дотримуватися певного часу перемішування, який залежить від місткості бетонозмішувача, рухливості

бетонної суміші і типу бетонозмішувача. Бетонозмішувачі бувають гравітаційні (для важких бетонів) і примусової дії (для всіх типів бетонних сумішей). Час перемішування рухливих бетонних сумішей у барабані місткістю до 425 л – 1 хв., місткістю до 2400 л – 2,5 хв. Час перемішування жорстких бетонних сумішей у півтора-два рази більший [19].

Бетон – це матеріал, що є найбільш використовуваним у сучасному будівництві. Для його виготовлення використовують велику кількість первинних вичерпних ресурсів, які потенційно можуть бути замінені на скляний бій різних фракцій.

Аналіз досліджень показав, що скло різних фракцій може бути використане у будівництві як дрібний та великий заповнювач у будівельних розчинах. Скляний бій перед утилізацією проходить всі етапи підготовки для створення якісної сировини. Використання переробленого скла в бетоні розширює перспективи для утилізації змішаного та/або відсортованого за кольором битого скла.

Тарне скло має високий естетичний потенціал, як і інші види кольорового скло, які майже не досліджуються, як вторинна сировина для будівництва. Скло можна поділити за допомогою кольорового сортування та створити унікальний дизайн склобетону.

Дослідження склобою, як заповнювача для бетону почалися багато років тому. При вивченні скла, як заповнювача для будівництва було виявлено ряд перепон. Велике занепокоєння викликала проблема лужно-кремнеземнезної реакція.

Ще одне занепокоєння викликала поверхня частинок скла, якщо природний заповнювач має відносно шорстку поверхню, що забезпечує гарне зчеплення цементної суміші з наповнювачем, то частинки скла з гладкою поверхню, могли значно вплинути на міцності бетону.

Як дрібний заповнювач використовують мелене у порошок скло. Скляний бій обробляють за стандартною схемою. Отриманий склбій ділять за фракційним складом, скляні крихта розміром менше 5 мм подрібнюють в

скляний порошок для використання в якості заміни піску.

Для дослідження [24] було використано склобій віконного скла в якості дрібного заповнювача. Для експерименту було виготовлено п'ять контрольних зразків бетонних сумішей із у співвідношенні матеріалів (1:1,5:3:0,5) (цемент : пісок : щебінь : вода), а також виготовлено п'ять будівельних розчинів у співвідношенні (1 : 3 : 0,4) (цемент : пісок : вода). До сумішей додавали різні фракції склобою, а саме (10%, 20%, 30% і 40%) як часткову заміну піску за масою. Дослідження показали, що оптимальна міцність на стисках є оптимальною до показника 20% у віці 28 днів, далі відбувається її зниження. Як висновок, склобій з відходів віконного скла може замінити природній дрібнодисперсний заповнювач при рівнях заміщення до 20%.

Дослідження [25] з використання тарного скляного бою, як замітника піску показали, що при залучені до 100% у скляного піску до бетону призвело до збільшення міцності на стиск, міцності на розтяг при розриві, міцності на вигин. Таким чином, перероблений склобій може бути включений в бетон як дрібний заповнювач, з коефіцієнтом заміщення до 100%, без шкідливого впливу на властивості бетону.

Досліди [26] з заміни піску на змішане тарне скло показали, що контрольний зразок має міцність на стисках 36,2 МПа. Найкращий результат міцності на стиск (39,3 МПа) мають зразки, що містять 10 % скляного піску. При збільшенні кількості заміщеного піску до 30 % межа міцності на стиск зменшилася (33,8 МПа).

На основі всіх досліджень було зроблено висновок, що дрібнодисперсна суміш різнокольорових скляних відходів (до 20% мас) може бути використана, як заміна піску.

Як великий заповнювач використовують фракції скла розмірами від 5 до 20 мм. Головною проблемою використання скла, як великого заповнювача є неконтрольована лужно-кремнеземна реакція, що призводить до зменшення міцності і появи тріщин у будівельних конструкціях.

Дослідження [27] показало, великий заповнювач може бути замінений на

40% склом з міцністю на стисках до 26 МПа. Для боротьби з лужно-кремнеземну реакцією автори пропонують використовувати домішки солі барію, нітрат літію, карбонат літію, гідроксид літію. Кількість досліджень, що проводились з використанням скла, як великого заповнювача є дуже не великими і потребують додаткових досліджень.

Виходячи з результатів досліджень [28], содово-вапняний склобій, може бути використаний, як заміна природного крупного заповнювача у бетонній суміші (до 25% заміни) з міцністю на стисках до 20 МПа.

Напрямо використання скляного бою для виготовлення цементу є доволі перспективним для розвитку ринку вторинної сировини. Такий метод допомагає створити безвідходний спосіб утилізації, оскільки всі фракції можуть бути використані в процесі виробництва. Згідно з дослідженням наявних матеріалів було виявлено, що існує велика кількість дослідів, що мають суперечливі результати випробувань та недостатню кількість дослідів стосовно фракцій склобою і кольору скла, через що виникає потреба в додаткових більш глибоких дослідженнях.

2.1.8 Порівняльний аналіз технологій переробки відходів скла

Для зменшення витрати сировини на всіх стадіях виготовлення скла та кількості відходів після виготовлення та експлуатації цього матеріалу було розглянуто декілька маловідходних та безвідходних технологій, які є доцільними з екологічної та економічної точки зору. При детальному їх дослідженні та аналізі було розроблено таблицю 2.12, що містить порівняльний аналіз розглянутих технологій переробки відходів скла, їх коротку характеристику, види отримуваних продуктів, а також переваги та недоліки, що дає можливість зробити висновки з приводу доцільності того чи іншого методу.

Таблиця 2.12 – Порівняльний аналіз технологій переробки відходів скла

Технологія переробки відходів скла	Короткий опис технології	Отримуваний продукт	Переваги та недоліки технології
Повторне використання	Скляна тара, що була у використанні повертається назад на підприємство для повторного використання	Скляна тара	Переваги: Відсутність потреби в додаткових первинних ресурсах Недоліки: Обмеження у кількості скла, що можна використати повторно
Додавання до шихти	Скляний бій (віконний, тарний) переробляють на лініях (миють, сортують від домішок, поділяють за складом) і додають до шихти	Віконне скло, тара	Переваги: Склобій має меншу температуру плавлення ніж первинні матеріали. Недоліки: Склобій, що використовується повинен мати майже ідентичний склад з вихідним продуктом
Виробництво керамічних виробів	Скляний бій переробляють і додають до керамічної суміші	Керамічна плитка і її покриття	Переваги: Зменшення залучення у виробництво первинних ресурсів, Недоліки: Ця сфера використання склобою має малу кількість дослідів
Виробництво скловолокна	Перероблений бій додають до шихти і виготовляють скловолокно	Скляне волокно	Переваги: Зменшення залучення у виробництво природних ресурсів. Скло має меншу температуру плавлення. Недоліки: Високі вимоги до хімічного складу скла
Виробництво піноскла	Перероблений скляний бій додають до шихти і виготовляють піноскло	Піноскло	Переваги: Зменшення залучення у виробництво первинних ресурсів. Недоліки: Висока собівартість виготовленого продукту

Закінчення таблиці 2.13

Технологія переробки відходів скла	Короткий опис технології	Отримуваний продукт	Переваги та недоліки технології
Дорожнє будівництво	Перероблений бій додають до всіх шарів дорожнього одягу.	Шари дорожнього одягу	Переваги: Зменшення витрати первинних матеріалів і, як наслідок, зниження вартості будівництва. Недоліки: Використання скляного бою може призвести до зниження міцності шарів. Цей вид утилізації потребує додаткових досліджень
Виробництво бетону	Перероблений бій додають до бетонної суміші, як дрібний та великий наповнювач	Бетон	Переваги: Бетон використовують на будівництвах у великих кількостях. Використання зменшує витрати первинних матеріалів і вартості матеріалу. Дає можливість створення безвідходного способу утилізації скла. Недоліки: Використання скляного бою може призвести до зниження деяких характеристик матеріалу. Цей вид утилізації потребує додаткових досліджень

Аналіз всіх видів технологій утилізації скла показав, що більшість способів утилізації є ефективними, але маловивченими. Можна зробити висновок, що найбільш розповсюдженою технологією є перероблення скла в іншу скляну продукцію, але кількість відходів, що підходять для такого методу є обмеженою через різність хімічного складу.

Найбільш доцільним та високоефективним методом використання скла, що не потребує ідентичності складу та кольороподілу, є його використання у складі будівельних матеріалів, наприклад бетонів та асфальтобетонів. З кожним роком кількість населення Землі зростає, у зв'язку з чим виникає нагальна потреба для збільшення кількості житлових та промислових об'єктів та зменшення кількості відходів, що залишають люди. Дослідження ресурсного потенціалу скла і його використання, як вторинну сировину для бетону дозволить зменшити кількість первинних матеріалів, що використовуються для виготовлення сумішей, наприклад, щебінь та пісок, які є вичерпними природними ресурсами й активно і у великих кількості використовуються для будівництва, та частково або повністю замінити їх на скло, що має різні фракційні розміри.

2.2 Розробка рекомендацій щодо удосконалення технології утилізації відходів скла шляхом виробництва склонаповненого бетону

Використання скла в якості замітника природних піщано-гравійних матеріалів може забезпечити рішення проблеми накопичення тарного та віконного скла, але дохід від продажу скляної сировини може бути обмежений цінами на природні заповнювачі. Якщо природний пісок і гравій можна купити за низькою ціною, важко вивести на ринок заповнювачі зі скла, якщо вони будуть мати вищу ринкову вартість.

Склобетон – це відносно новий матеріал, що вимагає фундаментальних досліджень та розробки відповідних технологій виробництва. Для отримання всіх документів та дозволів потрібні інвестиції в час та зусилля для тестування складу бетонної суміші. Але склобетон має велику кількість переваг. Він дозволяє створити систему поводження з відходами до якої будуть залучені всі фракції скла. За якісними характеристиками склобетон має невелику вагу, яка дозволяє зменшити силу навантаження на фундамент, є стійким до горіння, має високу хімічну стійкість, звук- та теплоізоляцію, морозостійкість, заміна піску

та щебеню на скло допоможе скоротити витрати первинних ресурсів.

Проаналізувавши результати всіх досліджень було зроблено висновок, що в якості заповнювача для бетонних сумішей може бути використана суміш різнобарвного тарного, листового та лампового скла. Кількість великого заповнювача повинна складати до 30%, дрібного – 20%. Міцність бетону з великим заповнювачем складає на стисках до 25 мПа, для дрібного – 20 мПа, прогнозована міцність використання обох заповнювачів приблизно 23 мПа на 28 дні. Така середня міцність дозволяє використовувати заповнювачі у бетонах класу М200 і менше. Бетон М200 використовується, як універсальний матеріал для зведення фундаментів, стяжки (залівки та вирівнювання) підлоги, будівництво тротуарів, бордюрів, заливка майданчиків і т.д.

На основі досліджень властивостей компонентів бетону було розроблено таблицю 2.13, що показує приблизний склад бетонних сумішей. Даний склад потребує додаткових лабораторних досліджень.

Таблиця 2.13 – Склад бетонів М200 стандартний та з заміною наповнювачів на 1 м³

Компоненти	Стандарт	Розроблений склад
Портландцемент М400, кг	280	280
Щебінь чи гравій до 7 мм, кг	1344	940
Середньозернистий пісок (річковий), кг	784	627
Вода, л	190	190
Скло з діаметром 1-3 мм, кг	-	157
Скло з діаметром до 7 мм, кг	-	404

В зв'язку з малою кількістю досліджень, які показують ефективність використання великого і дрібного заповнювача зі скла одночасно, було розроблено додаткові рецепти з окремим використанням скла різної фракції та різного заповнювача, що детально розписані у таблицях 2.15 та 2.16.

До складу сумішей можуть входити пластифікуючі, повітрявтягувальні,

протиморозні добавки, які враховують окремо в залежності від виду бетону і його призначення.

Всі проаналізовані дослідження показали, що піщано-гравійні матеріали в складі бетонних сумішей можуть бути замінені на 10-100 % скляними відходами різних фракцій, але такі бетони потребують додаткових лабораторних досліджень.

Таблиця 2.14 – Склад потенційної бетонної суміші з заміною 100% щебеню , 1 м³ %

Величина фракцій	2,5	5	10	20
Цемент, кг/м ³	250	252	253	255
Пісок, кг/м ³	690	706	709	714
Скло, кг/м ³	1190	1200	1210	1224
Вода, кг/м ³	175	142	137	125

Таблиця 2.15 – Склад потенційної бетонної суміші з заміною 100% піску, 1 м³ %

Величина фракцій	Склад
Цемент, кг/м ³	487
Скло, кг/м ³	649
Щебінь, кг/м ³	1048
Вода, кг/м ³	180

Підготовка склобою відбувається за стандартною схемою, що наведена у пункті 2.1.2.

До складу сумішей можуть входити пластифікуючі, повітрявтягувальні, протиморозні добавки, які враховують окремо в залежності від виду бетону і його призначення.

Всі проаналізовані дослідження показали, що піщано-гравійні матеріали в складі бетонних сумішей можуть бути замінені на 10-100 % скляними відходами різних фракцій, але такі бетони потребують додаткових

лабораторних досліджень.

Для функціонування підприємство з заготівлі скла потрібне приміщення, що знаходиться за межами міста з санітарно - захисною зоною 600 м. Цех повинен містити все необхідне обладнання для комфортної і безпечної роботи працівників. Необхідний персонал повинен мати освітньо-кваліфікаційний рівень молодшого спеціаліста. Керівний персонал повинен мати вищу освіту.

Відповідно до технології виробництва персонал працюватиме за п'ятиденним робочим тижнем (8-годинний робочий день, тобто 40 годин в тиждень) з двома вихідними днями на тиждень. Кількості персоналу підприємства зображено в таблиці 2.16.

Таблиця 2.16 – Штат працівників

Посада	Кількість, осіб
Директор	1
Бухгалтер	1
Фінансовий директор	1
Інженер-технолог	1
Економіст	1
Спеціаліст з матеріально - технічного забезпечення	1
Кадровий спеціаліст	1
Головний технолог	1
Майстер - технолог	2
Оператор обладнання	8
Водії різних категорій	5
Різноробочі (пакувальники, фасувальники, візуалісти)	7
Прибиральник	2
Охорона	5

Технологія виготовлення сировини полягає у закупівлі або зборі скла, традиційній технології переробки відході з подальшим їх транспортуванням на підприємство з виготовлення бетону.

Підприємство потребує безперебійної поставки сировини, така умова може бути виконана за допомогою укладання договорів з підприємствами, що спеціалізуються на зборі вторинної сировини або створення власних пунктів прийому скляної тари, що несе за собою додаткові витрати на оренду приміщення та наймання персоналу.

Цех обробки та його обладнання. Для функціонування підприємства з утилізації скла потрібні: ділянка для зберігання привезеного склобою, ділянка подрібнення, ділянка для зберігання очищеного склобою. Кількість необхідного обладнання зображена в таблиці 2.17.

Цех повинен бути обладнаний припливно - витяжною установкою для забезпечення гарної вентиляції і дотримання всіх санітарних норм.

Вантажний автопарк повинен включати вантажівки для перевезення сировини та готового продукту, а також ковшовим навантажувачем для завантажування сировини в бункер і для її складування.

Виробнича потужність обладнання в сумі складає 300 м³/год. З врахуванням рекомендацій по експлуатації обладнання використання його потужностей не повинно бути більше 95%. Кількість виробленого скла в годину планується 280,5 м³/год.

Таблиця 2.17 – Склад лінії переробки скла

Найменування	Кількість, шт
Віброживильник ПВ-1	2
Стрічковий транспортер	2
Дробалка роторна ДРК-6х5	2
Магнітний сепаратор ПН-А	1
Шківний магнітний сепаратор Ш	2
Сушильний барабан	1
Сепаратор типу БС	1
Вібросито	2
Сепаратор типу БС	1
Оптична сортувальна машина	1

З 365 календарних днів (за 2022 рік) кількість вихідних днів склала 105, кількість святкових – 11, а робочих – 249. Підприємство буде працювати 8 годин в день або 40 годин тиждень. Тож, річна виробнича потужність становить:

$$\text{Потужність} = 280,5 * 8 * 249 = 560\,880 \text{ м}^3$$

Переводимо м³ у кілограми.

$$M = V * \rho$$

де, V - об'єм у м³,

ρ - щільність елемента, для скла $\rho = 2500 \text{ кг/м}^3$.

$$M = 560880 * 2500 = 140\,220\,000 \text{ кг/ рік або } 140\,220 \text{ тон/рік.}$$

Таким чином, лінія переробки скла може обробити 140 220 000 кг скла на рік.

Оброблений склобій передається виробнику, як вторсировина для використання у будівельних сумішах. Всі етапи виготовлення бетону наведені в пункті 2.1.6. Середня потужність заводу з виробництва бетону становить 40 м³/год.

Тож, річна виробнича потужність становить:

$$\text{Потужність} = 40 * 8 * 249 = 79\,680 \text{ м}^3$$

Переводимо м³ у кілограми.

$$M = V * \rho$$

де, V - об'єм у м³,

ρ - щільність елемента, для цементних сумішей середня $\rho = 2000 \text{ кг/м}^3$.

$$M = 79680 * 2000 = 159\,360\,000 \text{ кг/ рік або } 159\,360 \text{ тон/рік.}$$

Таким чином, лінія переробки скла може виготовляти достатню кількість вторинної сировини для виробництва бетону.

Проаналізувавши проблему поводження з скляними відходами можна зробити висновок, що найпоширенішим методом утилізації є додавання скла до шихти. Таким способом можна отримати продукцію високої якості при умові ідентичності хімічного складу сировини та вихідного продукту. При невеликих

похибках виріб може мати нижчі технічні характеристики.

Методом, що набув широкого використання скляних відходів у складі будівельних матеріалів є виготовлення піноскла. Цей матеріал використовується в якості утеплювача. Головним недоліком є потреба в сировині з певним хімічним складом та висока вартість виробництва.

Всі приведені вище технології, що зараз активно застосовують для промисловості, використовують в якості вторинної сировини незначну кількість відходів, що порівнюючи масштабами утворення та захоронення, є недостатнім для повноцінного вирішення питання. Всі інші технології, що були наведені в розділі не мають такого широкого застосування в промислових масштабах і потребують додаткових досліджень.

Для повторного використання відходів скла рекомендують використовувати оборотну тару. Це може бути пляшка для напоїв, банка для харчових продуктів, флакон для косметичної продукції. Така тара збирається споживачем і відноситься в пункти збору скла або/та передається виробникові для повторного заповнення. Головними недоліком є те, що не вся тара може використовуватись, як оборотна, збір та транспортування повинні проводитись обережно для збереження скла в цілісності.

Використання скла в будівельній промисловості може допомогти скоротити кількість невідновних природних ресурсів (пісок, глина, щебінь і т.д.), що кожного року використовують у великих масштабах, зменшити негативний вплив на навколишнє середовище кар'єрів де добувають пісок та щебінь. Використання скла для виробництва бетону допоможе створити безвідходну технологію зі 100% залученням скла у виробництво. Але така технологія потребує додаткових глибоких та тривалих досліджень впливу складових скла на властивості бетону для виявлення та усунення всіх недоліків, наприклад, лужно-кремнеземнезна реакція.

Для використання скла, як вторинної сировини у всіх технологіях утилізації, матеріал повинен пройти стадії обробки, що гарантують високу якість продукту. Великою перевагою використання скла, як заповнювача для

бетону, є мінімальне очищення сировини без залучення води. При проведенні додаткових досліджень впливу хімічних складових на технічні властивості бетону (на даний момент таких досліджень доволі мало) можна уникнути потреби сортування за хімічним складом та кольором.

У технологічному розділі за допомогою розрахунків доведено, що один завод з переробки скла з виробничою потужністю 300 м³/год, може забезпечити вторинну сировину для виготовлення 159 360 тон/рік бетону.

Аналіз ситуації, що склалась з скляними відходами показав, що перспектива вирішення цього питання є доволі оптимістичною, дослідження в напрямку удосконалення технологій, що вже існують та розробка нових продовжуються.

ВИСНОВКИ

Велика кількість людей помилково вважає, що скло – це екологічно безпечний матеріал, який не несе шкоди навколишньому середовищу. В Світі кожного року утворюється велика кількість скляних відходів для видалення яких використовують дешевий та практичний спосіб – захоронення у спеціально виділених для цього місцях (полігонах або звалищах). Кількість залучених земель, що використовується для остаточного розміщення відходів постійно зростає. Такий метод поводження зі склом несе велику небезпек для навколишнього середовища, повільно отруюючи його. Скло довго розкладається, під впливом опадів з нього вимиваються небезпечні речовини, наприклад, луги, що негативно впливають на кислотно-лужний баланс підземних вод та родючі показники ґрунту. Такий довготривалий вплив може призвести до істотного забруднення земель та підземних вод.

Проблема поводження з відходами скла – це актуальне питання, що потребує до себе детальної уваги. З кожним роком кількість використаного скла стає більше, а відсоток переробки та утилізації залишається незмінним.

В Україні ситуація з відходами була доволі проблематичною. Країна мала великі проблеми, через відсутність культури сортування та дотримання дійсного законодавства стосовно відходів. Зараз ситуація знаходиться на піку загострення. Значним джерелом відходів є руйнування житлових та промислових об'єктів через військову агресію росії, що призводить до накопичення великої кількості відходів будівельного характеру. Вивезення такої кількості відходів на полігони призведе до катастрофічних наслідків. Тому, країна потребує негайного вирішення цього питання.

Всі ресурси, що використовуються у виробництві є вичерпними і через декілька років можна буде спостерігати дефіцит первинної сировини, наприклад, піску. Великий попит на нього призвів до того, що видобування сировини відбувається швидше, ніж процес його природного утворення. Видобування піску призводить до ерозії ґрунтів, значної втрати біорізноманіття,

нанесення великої шкоди річкам та морській екосистемі.

Скло виготовляють з кварцового піску, що має високу якість, чистоту та певні розміри фракції. Дослідження ресурсного потенціалу скла, що наведені в роботі, довели, що скло – це цінний ресурс, який може служити вторинною сировиною у великій кількості галузей, а не відправлятися на захоронення.

Проаналізувавши всі технології утилізації скла було визначено, що використання скла для будівництва дозволить зменшити кількість первинних матеріалів, що використовуються для виготовлення бетонних сумішей, наприклад, щебінь та пісок, які є вичерпними природними ресурсами й активно та у великих кількостях використовуються для будівництва. Всі матеріали, які були проаналізовані свідчать, що дослідження в цій сфері є перспективними і можуть допомогти частково або повністю замінити первинні матеріали на скло, що має різні фракційні розміри. Запропоноване технічне рішення дозволить створити безвідходну технологію утилізації скла.

У технологічному розділі наведено розрахунок середнього за продуктивністю підприємства (300 м³/год) з переробки скляного бою, яке, згідно з розрахунків, може забезпечити вторсировиною зі скла для виготовлення 159 360 тон/рік бетону (при умові використання 100%).

Розділ охорони праці був розроблений з врахуванням всіх ризиків та факторів, що можуть впливати на працівників задля створення комфортних умов праці.

Аналізуючи ситуацію, що склалась у світі та Україні з відходами, можна зробити висновок, що проблема утилізації скла піддається рішенню. В Україні є велика кількість заводів, що готові приймати та переробляти на нові товари паперові, скляні, металеві і пластикові відходи, але через відсутність культури сортування в країні вторинна сировина потрапляє на звалища, а підприємства закупають сміття у інших країн.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Лосик М.В, Звір О.М. Технологічні та фізико-хімічні властивості скла : Навч. посіб. Львів: ЛНАМ, 2018. С. 5.
2. Воронов Г.К. Технології виробництва скломатеріалів: конспект лекцій. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекет., 2020. С. 10.
3. Пашенко Т. М., Світла З. І. Будівельне матеріалознавство: Навч. посіб. Київ . С. 94-100.
4. Племянніков М.М., Яценко А.П., Пилипенко І.В., Корнілович Б.Ю. Інноваційні технології у виробництві спеціального та побутового скла: Електронне мережне навчальне видання. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. С. 298. URL: <http://surl.li/ivwbt>.
5. Skorek-Osikowska A. Influence of Glass Furnace Age, Cullet Share and Glass Color on the Glass Production Energy Efficiency. Architecture, Civil Engineering, Environment, 2021. №14. С. 118.
6. Затверджено національну стратегію управління відходами в Україні. DLF attorneys-at-law. URL: <http://surl.li/hrtsc>. Загол. з екрану.
7. Міністерство розвитку громад та територій України. URL: <http://surl.li/cxhrrp>. Загол. з екрану.
8. Утворення та поводження з відходами I-IV класів небезпеки за категоріями матеріалів у 2020 році. Державна служба статистики України. URL: <http://surl.li/ivxba>. Загол. з екрану.
9. Рихліцький В. Україна імпортує відходи з інших країн на мільярди. Чому так та як у нас працює бізнес з переробки сміття?. URL: <http://surl.li/ivxlu>. Загол. з екрану.
10. Черниш О. Організація процесу поводження з відходами від руйнувань в громадах: як правильно здійснити перші кроки. U-LEAD. URL: <http://surl.li/hrtvc>. Загол. з екрану.
11. Белоусова К. В Україні відходи війни набули масштабів часів Другої світової – заміністра. Екополітика. URL: <http://surl.li/ivudj>. Загол. з екрану.

12. Про затвердження Порядку поводження з відходами, що утворились у зв'язку з пошкодженням (руйнуванням) будівель та споруд внаслідок бойових дій, терористичних актів: Постанова Кабінету Міністрів України від 27.09.2022 № 1073. Офіційний вісник України.

13. Гурець Л.Л, Котолевець А.С, Котова І.І. Зниження рівня техногенного навантаження на довкілля під час використання відходів скла. Екологічні науки : науково-практичний журнал. 2018. Т. 4, № 23. С. 43.

14. Самойленко Н.М, Баранова А.О, Єрмакович І.А. Підготовка фармацевтичних відходів зі скла до утилізації у виробництві керамічної плитки. Екологічні науки. 2019. Т. 2, № 25. С.199 - 201.

15. Самойленко Н. М., Щукіна Л. П., Баранова А. О. Використання вторинного ресурсного потенціалу фармацевтичних відходів зі скла у виробництві керамічної плитки. Вісник НТУ "ХПІ". т. 26, № 1302. с. 94 - 95.

16. Про затвердження Державних санітарно-протиепідемічних правил і норм щодо поводження з медичними відходами: Наказ МОЗ України від 08.06.2015 № 325. Офіційний вісник України.

17. Самойленко Н. М., Баранова А.О. Розробка складу ангобу з додаванням фармацевтичних відходів зі скла. Екологія. Людина. Суспільство. 2019. С. 79.

18. Племянніков М.М.,Тобілко В.Ю. Силікатне матеріалознавство: електр. навч. посіб. для здобувачів ступеня доктора філософії 161 «Хімічні технології та інженерія». Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. С. 71-80.

19. Дворкін Л.Й. Будівельне матеріалознавство. Навчально-довідковий посібник українською та англійською мовами. Рівне: НУВГП, 2017. С. 365.

20. Березіна Н.О, Пархоменко Н.Г. Шляхи використання відходів склобою у дорожньому будівництві. SCIENTIFIC COLLECTION «INTERCONF». 2022. № 114. С. 325.

21. Кондратенко В. О., Овсяк О. В., Опроценко І. О., Хамбір Б. Ю. Технологія захисту навколишнього середовища за рахунок використання відходів склобою в дорожньому будівництві. Науково-технічний збірник

«автомобільні дороги і дорожнє будівництво». 2021. № 110. С. 112.

22. ДСТУ Б В.2.7-210. Пісок із відсівів дроблення вивержених гірських порід для будівельних робіт. [Чинний від 2011]. Київ, 2011. С.26. (Інформація та документація).

23. ДСТУ Б В.2.7-34. Щебінь для будівельних робіт із скельних гірських порід та відходів сухого магнітного збагачення залізистих кварцитів гірничо-збагачувальних комбінатів і шахт України. [Чинний від 2011]. Київ, 2001. С.32. (Інформація та документація).

24. Ammash H. K., Muhammed M. S., Nahhab A. H. USING OF WASTE GLASS AS FINE AGGREGATE IN CONCRETE. Al-Qadisiya Journal For Engineering Sciences. 2009. Т. 2, №2.

25. Hongjian Du, Kiang H. Tan. Concrete with Recycled Glass as Fine Aggregates. ACI Mater. J. 2014. Т. 111. С. 47

26. Adaway M , Wang Y. Recycled glass as a partial replacement for fine aggregate in structural concrete – Effects on compressive strength. Electronic Journal of Structural Engineering. Т. 14, № 1. С. 166–122.

27. Construction T. S. Serniabat, M. N. N. Khan, Zain M. F. M. Use of Waste Glass as Coarse Aggregate in Concrete: A Possibility towards Sustainable Building. International Journal of Civil and Environmental Engineering .Т.8, №:10 С.1075-1078.

28. Olofinnade O., Ede A., Ndambuki J. Sustainable Green Environment through Utilization of Waste Soda-Lime Glass for Production of Concrete. Journal of materials and Environmental Sciences. 2016. Т. 8, № 12.

29. Про охорону праці: Закон України від 14.10.1992 № 2694-ХІІ. Офіційний вісник України.

30. Про затвердження Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці (НПАОП 0.00-4.12-05) та Переліку робіт з підвищеною небезпекою: Наказ Держнаглядохоронпраці України від 26.01.2005 № 15. Офіційний вісник України.