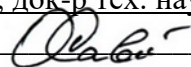


**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА**

Інститут НИІ Енергетичної, інформаційної та транспортної інфраструктури
Кафедра Хімії та інтегрованих технологій
Освітній рівень перший (бакалаврський)
Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ХтаІТ
проф., док-р тех. наук Саввова О.В.

« 22 » червня 2026 року

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

Тема проекту: Шихтоскладальний цех виробництва полегшеної скляної тари продуктивністю 100 тис. тонн шихти на рік

Шифр роботи ХІТк 2022-1 1
(група, номер теми за наказом)

Виконавець Абраменко Роман Вікторович
(прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник старший викладач Смирнова Юлія Олегівна
(посада, прізвище, ім'я, по батькові)

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

Інститут ННІ Енергетичної, інформаційної та транспортної інфраструктури

Кафедра Хімії та інтегрованих технологій

Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр

Спеціальність 161 – Хімічні технології та інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ХтаІТ

проф., док-р тех. наук Саввова О.В.


« 11 » травня 2026 року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА ЗДОБУВАЧУ**

Абраменку Роману Вікторовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту Шихтоскладальний цех виробництва полегшеної скляної тари продуктивністю 100 тис. тонн шихти на рік

керівник роботи Смирнова Юлія Олегівна, кандидат технічних наук

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджена наказом вищого закладу освіти «08» травня 2026 р. № 399-03

2. Строк подання студентом роботи 20 червня 2026 р.













3. Вихідні дані до проєкту розробити проєкт шихтоскладального цеху заводу з виробництва полегшеної скляної тари, підібрати технологічну схему виробництва полегшеної скляної тари, необхідне обладнання, обрати хімічний склад скла та склад шихти, виконати належні технологічні розрахунки, продуктивність цеху 100 тис. тонн шихти на рік.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
розділ 1: Аналітичний огляд; розділ 2: Технологічна частина; розділ 3: Економічне обґрунтування; розділ 4: Охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Презентація – 14 слайдів

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Аналітичний огляд	Смирнова Ю.О., ст. викладач	 11.05	 03.06
Технологічна частина	Смирнова Ю.О., ст. викладач	 11.05	 12.06
Економічне обґрунтування	Пилипенко О.І., доцент	 11.05	 18.06
Охорона праці	Логвінков С.М., проф.	 11.05	 19.06
Нормоконтроль	Смирнова Ю.О., ст. викладач	 11.05	 19.06
Показник оригінальності ДП	Скрипинець А.В., доцент	 11.05	 20.06

7. Дата видачі завдання 11.05.2026

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер етапу	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Одержання завдання	11.05.2026	виконано
2	Вивчення науково-технічної та патентної літератури за темою проєкту	03.06.2026	виконано
3	Вибір хімічного складу тарного скла, вибір сировинних матеріалів з обґрунтуванням та виконання розрахунків шихтового складу тарного скла. Вибір обладнання для шихтоскладального цеху та розрахунок необхідної кількості обладнання	12.06.2026	виконано
4	Підготовка розділів з економічного обґрунтування та охорони праці	16.06.2026	виконано
5	Оформлення пояснювальної записки	19.06.2026	виконано
6	Підготовка презентації, доповіді по ДП та інших супроводжуваних документів	21.06.2026	виконано
7	Подання ДП на допуск до захисту	22.06.2026	виконано
8	Захист ДП	25.06.2026	виконано

Студент 

(підпис)

Абраменко Р. В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи 

(підпис)

Смирнова Ю. О.

(прізвище та ініціали)

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи

бакалавра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: Шихтоскладальний цех виробництва полегшеної скляної тари
продуктивністю 100 тис. тонн шихти на рік

Виконав студент 4 курсу, групи XiTk 2022-1
напряму підготовки (спеціальності)

161 Хімічні технології та інженерія

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

 Абраменко Р. В.

(підпис, ініціали та прізвище)

Керівник  Смирнова Ю. О.

(підпис, ініціали та прізвище)

Рецензент  Христич О.В.

(підпис, ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до ДП: 76 с., 4 рис., 29 табл., 42 джерел, 3 дод.

Ключові слова: ТАРНЕ СКЛО, ШИХТА, СИРОВИННІ МАТЕРІАЛИ, СКЛОБІЙ, КОМПЛЕКСНА СИРОВИНА, ГРАНУЛЮВАННЯ.

Метою роботи – розробка проєкту шихтоскладального цеху виробництва полегшеної скляної тари.

В аналітичному огляді розглядаються останні досягнення науки та техніки в галузі виробництва полегшеної скляної тари способом вузькогорлового пресовидування. В ньому особливу увагу приділено підготовці сировинних матеріалів, зокрема склобою, та гранулюванню як способу ущільнення шихти та підвищення якості варіння скла.

Проведено комплекс розрахунків матеріального балансу виробництва тарного скла, встановлена необхідна кількість сировинних матеріалів на рік, місяць, добу, підібране з урахуванням заданої продуктивності тип обладнання і розрахована його необхідна кількість.

В економічній частині виконаний розрахунок основних техніко-економічних показників: собівартості сировини та енергоресурсів, розміри капітальних затрат. Для визначення собівартості продукції були підраховані всі витрати виробництва.

Передбачені заходи щодо охорони праці й техніки безпеки на виробництві.

ABSTRACT

Explanatory note to the Diploma Project: 76 pages, 4 figures, 29 tables, 42 references, 3 appendices.

Keywords: CONTAINER GLASS, BATCH, RAW MATERIALS, CULLET, COMPLEX RAW MATERIALS, GRANULATION.

The objective of this work is to develop a design project for a glass batch plant dedicated to the production of lightweight glass containers.

The analytical review examines the latest scientific and technological advancements in the field of lightweight glass container production using the NNPB (Narrow Neck Press and Blow) process. Particular emphasis is placed on the preparation of raw materials, specifically cullet, and on granulation as a method for batch compaction and enhancing the glass melting efficiency.

A comprehensive set of material balance calculations for container glass production was conducted. The required quantity of raw materials on an annual, monthly, and daily basis was established. Based on the specified production capacity, the types of equipment were selected and their required quantities were calculated.

The economic section provides the calculation of the key technical and economic indicators, including the cost of production, raw materials, and energy resources. To determine the production cost, all manufacturing expenditures were calculated.

Occupational health, safety, and environmental protection measures for the manufacturing process have been provided.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД	5
1.1 Аналіз ринку скляної тари та тенденції його розвитку.....	5
1.2 Асортимент та характеристика виробів.....	6
1.3 Вимоги стандарту.....	9
1.4 Шляхи зменшення маси скляної тари	11
1.5 Інтенсифікація процесу варіння у ванних полум'яних печах і покращення якості скла	14
1.5.1 Вплив сировинних матеріалів, складу скла та шихти	14
1.5.2 Способи поліпшення якості шихти	16
1.6 Висновки	18
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	21
2.1 Вибір та обґрунтування складу скла та сировинних матеріалів	21
2.2 Розрахунок фізико-хімічних властивостей тарного скла.....	26
2.3 Розрахунок шихти	29
2.4 Розрахунок виробничої програми	33
2.5 Розрахунок шихтоскладального цеху	35
2.5.1 Розрахунок площі складських приміщень для сировинних матеріалів	36
2.5.2 Розрахунок бункерів для сировинних матеріалів.....	38
2.5.3 Технологічна схема роботи шихтоскладального цеху.....	38
2.5.4 Приготування сировинних матеріалів	39
2.5.5 Приготування шихти	42
2.6 Висновки	43

	3
3 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	45
3.1 Загальна характеристика умов здійснення технологічного процесу	45
3.2 Промислова санітарія	48
3.3 Пожежна безпека.....	50
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	52
4.1 Розрахунок виробничої потужності проєктованого шихтоскладального цеху	52
4.2 Розрахунок вартості та потреби сировини і матеріалів	53
4.3 Визначення витрат та вартості енергоресурсів.....	55
4.4 Розрахунок амортизаційних відрахувань	56
4.5 Розрахунок витрат на оплату праці.....	58
4.6 Розрахунок річного фонду оплати праці керівників, спеціалістів, службовців і МОП.....	59
4.7 Розрахунок витрат по утриманню та експлуатації устаткування	60
4.8 Розрахунок загально виробничих витрат	61
4.9 Калькуляція собівартості продукту.....	62
ВИСНОВКИ.....	63
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	65
ДОДАТОК А.....	70
ДОДАТОК Б	74
ДОДАТОК В.....	75

ВСТУП

Сучасна індустрія пакування перебуває на етапі конкуренції між різними видами матеріалів (скло, пластик, метал, картон). Проте в контексті сталого розвитку, екологічної безпеки та збереження якості продукції скляна тара посідає монопольне місце у багатьох секторах харчової, фармацевтичної та хімічної промисловості.

Такі якості, як прозорість, хімічна інертність, гігієнічність, термостійкість та естетичність роблять скляну тару привабливою для пакування алкогольних та безалкогольних напоїв, дитячого харчування, харчових рідин та пастоподібних продуктів. Також скло відрізняється екологічністю та циклічністю, оскільки підлягає 100 %-вій вторинній переробці необмежену кількість разів без втрати фізико-хімічних властивостей.

Головним недоліком скла є його висока питома маса та крихкість, а також вартість у порівнянні із пластиковою упаковкою. Цим пояснюється стійка тенденція серед виробників напоїв та мінеральних вод до використання ПЕТ-пакування. Проте впровадження технологій тонкостінного формування, яке забезпечує зниження собівартості продукції за умов одночасного підвищення її міцнісних характеристик, дозволяє скляній тарі успішно конкурувати з полімерними аналогами.

Зважаючи на високий ресурсний потенціал України, масштабне налаштування ліній масового виробництва полегшеної скляної тари є стратегічно важливим кроком. Це дозволить суттєво розширити структуру споживання склотари на внутрішньому ринку, забезпечивши перехід від традиційного пакування продукції до екологічного фасування мінеральних вод, соків та газованих напоїв. Саме розробка сучасного шихтоскладального цеху, здатного забезпечити стабільну якість шихти для одержання таких тонкостінних виробів, і є головною метою даного кваліфікаційного проєкту.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

Сучасна індустрія пакувальних матеріалів функціонує в умовах жорсткого регуляторного тиску, спрямованого на мінімізацію вуглецевого сліду та декарбонізацію промисловості. У цьому контексті глобальний та вітчизняний ринки скляної тари демонструють глибоку технологічну трансформацію.

1.1 Аналіз ринку скляної тари та тенденції його розвитку

Попри тривалу конкуренцію з боку полімерних матеріалів (зокрема, ПЕТ) та алюмінію, скло зберігає фундаментальні позиції як еталон екологічної та хімічно інертної тари [1-3]. За даними міжнародних аналітичних оглядів, глобальний ринок скляної тари демонструє стабільне щорічне зростання на рівні 4,2–4,8 % [4]. Головним макроекономічним рушієм цього процесу є європейська ініціатива «Plastic-free» та стратегічні цілі Європейської федерації скляної тари (FEVE) [5], які передбачають доведення рівня збирання та циклічної переробки склобою в країнах ЄС до 90 %. На фундаментальному рівні це змінює філософію проєктування сучасних склозаводів, перетворюючи їх на високоефективні рециклінгові комплекси.

Кожні 10 % введеного у засип склобою дозволяють знизити енергоспоживання скловарної печі на 3 % та скоротити прямі викиди димових газів CO₂ на 7 % [6, 7]. Проте масове використання вторинної сировини ставить екстремальні вимоги до шихтопідготовки. Сторонній (покупний) склобій характеризується нестабільним хімічним складом та наявністю тугоплавких включень, що потребує проєктування високотехнологічних ліній сепарації, оптичного сортування та ретельного подрібнення безпосередньо у складі шихтоскладального цеху.

В Україні динаміка розвитку скляної промисловості за останнє десятиліття (2016–2026 рр.) визначалася процесами глибокої адаптації до криз енергоносіїв, руйнування логістичних ланцюгів та безпосередніх пошкоджень виробничих потужностей. Тимчасова втрата та консервація окремих

підприємств (зокрема, першочергові руйнування та подальше тривале відновлення ліній ПрАТ «Ветропак Гостомельський Склозавод») призвели до структурного дефіциту тари на внутрішньому ринку, який наразі активно покривається реконструйованими потужностями у різних регіонах (Костопільський, Рокитнівський, Малинівський склозаводи) [8-10].

Основним вектором розвитку українських та світових підприємств став повний відхід від виробництва традиційної тари на користь полегшених високоміцних виробів. Промислове впровадження технології вузькогорлового пресовидування (NNPB – Narrow Neck Press and Blow) дозволяє зменшити масу пляшки на 20–30 % при збереженні або навіть покращенні її міцнісних характеристик за рахунок усунення нерівномірності розподілу скломаси у формі [11]. Технологія NNPB та випуск тонкостінного скла накладають критичні обмеження на якість та гомогенність шихти [12]. На відміну від класичного видування (BB), де незначні коливання в'язкості нівелюються товщиною стінок, у полегшеній тарі будь-яка хімічна або термічна неоднорідність скломаси призводить до миттєвого утворення браку (бульбашки, шліри, мошка, каміння) [13]. Тому сучасна тенденція розвитку шихтоскладальних цехів передбачає раціональний та обґрунтований вибір сировинних компонентів, вибору сучасного продуктивного обладнання та вживання заходів з отримання якісної шихти.

1.2 Асортимент та характеристика виробів

Скляна тара є одним із найважливіших видів споживчої упаковки, яка використовується для фасування, транспортування, зберігання та реалізації харчових продуктів, напоїв, лікарських засобів, косметичної, парфумерної та хімічної продукції. Завдяки високій хімічній інертності, газонепроникності, прозорості, екологічній безпечності та можливості багаторазової переробки скло залишається одним із найбільш універсальних пакувальних матеріалів навіть за умов значного поширення полімерної упаковки. Сучасна скляна тара характеризується широким асортиментом виробів, що відрізняються призначенням, конструкцією, геометричними параметрами, кольором,

способом виготовлення та фізико-хімічними властивостями [14].

Залежно від функціонального призначення скляну тару поділяють на такі основні групи [15]:

- тара для харчових продуктів;
- тара для алкогольних та безалкогольних напоїв;
- консервна тара;
- фармацевтична тара;
- косметична та парфумерна тара;
- тара для хімічної продукції;
- спеціальна технічна тара.

Основними виробами є пляшки різної місткості, банки, флакони, ампули, флакони-крапельниці, контейнери та інші вироби спеціального призначення.

Найбільшу частку світового виробництва становить тара для харчових продуктів і напоїв, на яку припадає понад 80 % загального обсягу виробництва тарного скла. Це скляні пляшки для фасування води, безалкогольних напоїв, пива, вина, лікєро-горілочаних виробів, соків, молочної продукції та рослинних олій. Їх місткість зазвичай становить від 0,05 до 3,0 л, хоча для окремих видів продукції можуть використовуватися пляшки більшого об'єму.

Конструкція пляшки складається з таких основних елементів: вінчик; горловина; плічка; корпус; дно.

Кожен конструктивний елемент впливає на технологічність формування виробу, його механічну міцність, герметичність закупорювання та стійкість під час транспортування. Особливу увагу при проектуванні приділяють формі дна, рівномірності товщини стінок та конфігурації горловини, оскільки саме ці параметри визначають допустиме навантаження на виріб.

Останніми роками широкого поширення набуло виробництво полегшених пляшок, маса яких на 15–30 % менша порівняно з традиційними аналогами. Досягнення такого результату стало можливим завдяки оптимізації геометрії виробів, удосконаленню технології формування, застосуванню сучасних ІС-машин, комп'ютерного моделювання процесу видування та нанесенню гарячих і холодних зміцнювальних покриттів. При цьому механічна міцність тари

практично не зменшується [11].

Другим за обсягом виробництва видом продукції є скляні банки. Вони використовуються для фасування овочевих і фруктових консервів, джемів, меду, дитячого харчування, кави, спецій та інших харчових продуктів.

Зазвичай банки випускають місткістю: 100-250 мл; 500 мл; 720 мл; 1000 мл; 3000 мл.

Основними вимогами до банок є висока термостійкість, механічна міцність, герметичність після закупорювання, стійкість до внутрішнього тиску та відсутність внутрішніх дефектів скла. Для консервної промисловості особливо важливою є здатність тари витримувати багаторазову стерилізацію за температур 100-130 °C без утворення тріщин або руйнування виробу.

Фармацевтична промисловість висуває найжорсткіші вимоги до якості скла. Для виробництва ампул, флаконів та контейнерів застосовують переважно боросилікатне або нейтральне скло, яке характеризується високою гідролітичною стійкістю, мінімальною міграцією іонів у лікарський препарат та високою термічною стійкістю.

Тип I застосовується для ін'єкційних препаратів, вакцин, кровозамінників та біофармацевтичної продукції, тоді як тип II і III використовують для менш агресивних лікарських форм [16].

Скляні флакони для косметики та парфумерії відрізняються підвищеними вимогами до декоративних властивостей. Для їх виготовлення використовують безбарвне, опалове або кольорове скло, яке може додатково декоруватися шовкотрафаретним друком, металізацією, лакуванням, матуванням, лазерним гравіюванням та нанесенням полімерних покриттів.

Отже, незалежно від призначення, скляна тара повинна відповідати комплексу таких експлуатаційних вимог, як висока механічна міцність, рівномірна товщина стінок, відсутність внутрішніх напружень, висока гідролітична та хімічна стійкість, термостійкість, точність геометричних розмірів та сумісність із сучасними автоматичними лініями розливу та закупорювання.

1.3 Вимоги стандарту

Виробництво скляної тари здійснюється відповідно до національних, європейських та міжнародних нормативних документів, які регламентують конструкцію виробів, їх геометричні параметри, показники якості, безпечності, методи випробувань, правила приймання, транспортування та зберігання. Гармонізація українських стандартів із європейськими забезпечує взаємне визнання продукції на міжнародному ринку та сприяє підвищенню конкурентоспроможності вітчизняних виробників.

Стандартизація скляної тари має міжгалузевий характер, оскільки вимоги до геометричних параметрів, місткості та конструкції виробів враховуються не лише підприємствами скляної промисловості, а й виробниками обладнання для фасування, закупорювання, етикетування, транспортування та пакування продукції. Уніфікація конструктивних елементів пляшок і банок забезпечує сумісність тари з високопродуктивними автоматизованими лініями розливу, що особливо важливо для підприємств харчової, фармацевтичної та косметичної промисловості.

Відповідно до чинних нормативних документів, номінальна місткість, основні геометричні розміри, допуски на відхилення, конструкція вінчика горловини та інші параметри визначаються стандартами серії ДСТУ EN ISO та ISO, зокрема ДСТУ EN ISO 12775:2022 [17], ISO 12821:2020 [18]; стандартами серії ISO 9058, ISO 9100, ISO 7458, що регламентують конструкцію горловини та різьбових вінчиків пляшок; стандартами серії ISO 9001, які встановлюють вимоги до систем управління якістю виробництва.

Для скляної тари, призначеної для контакту з харчовими продуктами, застосовуються вимоги Закону України «Про матеріали і предмети, призначені для контакту з харчовими продуктами», а також положення Регламенту (ЄС) № 1935/2004 щодо безпечності матеріалів, які контактують із харчовими продуктами.

До сучасної скляної тари висувається комплекс вимог щодо геометричної точності, механічної міцності, герметичності, термостійкості, хімічної

інертності та зовнішнього вигляду. Вироби повинні мати правильну геометричну форму, гладку поверхню без тріщин, відкритих пухирів, складок, задирок, каменів, шлірів, сторонніх включень та інших дефектів, які можуть погіршити експлуатаційні властивості або зовнішній вигляд продукції. Допускаються лише незначні дефекти, величина яких не перевищує норм, установлених чинними стандартами та технічними умовами виробника [15].

Особливу увагу приділяють якості оформлення вінчика горловини, оскільки саме ця частина забезпечує герметичність закупорювання. Поверхня вінчика повинна бути рівною, без сколів, задирок, тріщин і деформацій, а геометричні розміри мають відповідати вимогам стандартів для конкретного типу закупорювального засобу (кронен-пробка, гвинтова кришка, коркова пробка, полімерний ковпачок тощо).

Важливою вимогою є висока якість скломаси. Вона повинна бути повністю провареною, однорідною, добре освітленою та не містити кристалічних включень, непровару, каменів, шлірів, газових пухирів і сторонніх домішок, що можуть знижувати механічну міцність або погіршувати зовнішній вигляд виробів. Саме якість підготовки шихти та процесу варіння значною мірою визначає експлуатаційні характеристики готової скляної тари [19].

Одними з основних показників якості є механічна міцність і стійкість до внутрішнього тиску. Для різних видів продукції нормативні значення відрізняються. Найвищі вимоги висуваються до пляшок для ігристих вин та інших газованих напоїв, які повинні безпечно витримувати значний внутрішній тиск, що виникає під час зберігання та транспортування продукції. Пляшки для пива, мінеральних вод і безалкогольних газованих напоїв також проходять випробування на стійкість до внутрішнього гідравлічного або пневматичного тиску відповідно до міжнародних методик.

Не менш важливою характеристикою є термостійкість. Скляна тара повинна витримувати встановлені нормативними документами перепади температур без утворення тріщин і руйнування. Особливо високі вимоги ставляться до банок для консервування, які під час експлуатації піддаються

багаторазовим циклом нагрівання, стерилізації та охолодження. Випробування проводять відповідно до ДСТУ EN 1183 [20], який регламентує методику визначення стійкості скляної тари до термічного удару.

Хімічна стійкість скла є одним із найважливіших показників безпечності упаковки. Скло не повинно взаємодіяти з харчовими продуктами, напоями або лікарськими засобами, а також змінювати їх органолептичні властивості. Водостійкість і гідролітична стійкість визначаються відповідно до вимог міжнародних стандартів ISO та фармакопейних документів. Для виробництва харчової тари переважно використовують натрій-кальцій-силікатне скло, яке характеризується високою хімічною інертністю та належить до класів, що забезпечують безпечний контакт із харчовими продуктами.

Особливі вимоги висуваються до оптичних характеристик скла. Безбарвне скло повинно мати високу світлопропускну здатність і мінімальне власне забарвлення. Допускається лише незначний зеленуватий або блакитнуватий відтінок, обумовлений вмістом оксидів заліза. Кольорова тара (бурштинова, зелена, оливкова) повинна мати рівномірне забарвлення без смуг і плям. Для світлочутливих харчових продуктів, лікарських препаратів і косметичних засобів використовують переважно буре скло, яке ефективно поглинає ультрафіолетове випромінювання та забезпечує кращий захист продукції [21].

У виробництві полегшеної скляної тари особливого значення набуває стабільність цих показників, оскільки зменшення маси виробів не повинно призводити до погіршення їх механічної міцності, довговічності чи безпечності під час експлуатації.

1.4 Шляхи зменшення маси скляної тари

Одним із головних напрямів розвитку сучасної скляної промисловості є виробництво полегшеної скляної тари, що дозволяє одночасно знизити витрати сировини, зменшити енергоспоживання, скоротити викиди діоксиду вуглецю та транспортні витрати без погіршення експлуатаційних характеристик виробів. За даними Європейської федерації виробників тарного скла (FEVE), протягом

останніх двох десятиліть середня маса скляної тари в країнах Європейського Союзу зменшилася на 20–35 %, тоді як її механічна міцність і довговічність залишилися практично незмінними завдяки впровадженню сучасних технологій формування та зміцнення скла [22].

Основними факторами, що обмежують подальше зменшення маси скляної тари, є крихкість скла та нерівномірний розподіл напружень у виробі. Незважаючи на високі показники міцності при стисканні (до 1000 МПа), скло має порівняно низьку міцність при розтягу, що обумовлено наявністю поверхневих мікродфектів, які виникають під час формування, транспортування та експлуатації виробів. Саме мікротріщини є концентраторами напружень і визначають фактичну механічну міцність скляної тари [19].

Сучасні технології зменшення маси скляної тари базуються на двох основних принципах:

- удосконаленні процесу формування виробів із забезпеченням максимально рівномірної товщини стінок;
- застосуванні захисно-зміцнювальних покриттів, які запобігають утворенню та розвитку поверхневих дефектів.

Найефективнішим способом отримання полегшеної скляної тари є застосування технології NNPB (Narrow Neck Press and Blow) — пресовидування вузькогорлих виробів. На відміну від традиційного процесу подвійного видування (Blow and Blow), під час NNPB чорнова заготовка формується за допомогою металевого плунжера, після чого остаточне формування пляшки здійснюється стисненим повітрям у чистовій формі [11].

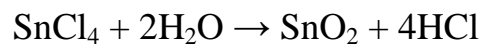
Саме використання пресовидування забезпечує більш рівномірний розподіл скла по висоті виробу, зменшення різнотовщинності стінок, зниження маси пляшок, підвищення опору внутрішньому тиску, зменшення кількості виробничих дефектів, підвищення стабільності процесу формування.

На сучасних підприємствах (Vetropack, Verallia, O-I Glass, Ardagh Glass Packaging) технологія NNPB використовується практично для всього асортименту вузькогорлої скляної тари [7, 24].

Іншим важливим напрямом підвищення міцності полегшеної скляної тари є нанесення спеціальних зміцнювальних покриттів, які запобігають пошкодженню поверхні скла під час транспортування, фасування та експлуатації.

На сучасних виробництвах застосовується двоступенева система зміцнення – гаряче покриття (Hot-End Coating, НЕС) та холодне покриття (Cold-End Coating, СЕС).

Гаряче покриття наноситься безпосередньо після виходу виробів зі склоформуальної машини при температурі поверхні близько 550–650 °С. Найчастіше використовують пари тетраклориду олова (SnCl_4) або тетраклориду титану (TiCl_4). Під час контакту з гарячою поверхнею відбувається реакція термічного розкладання з утворенням тонкої оксидної плівки:



Аналогічно формується покриття на основі діоксиду титану.

Товщина оксидної плівки зазвичай становить 10–40 нм. Вона міцно з'єднується зі склом і створює основу для нанесення подальшого органічного покриття [3].

Після відпалу, при температурі близько 100–150 °С, наносять холодне покриття. Для цього використовують поліетиленові воски, поліетиленові емульсії, силанові композиції, поліуретанові матеріали або інші полімерні системи.

Таке комбіноване покриття забезпечує зменшення коефіцієнта тертя між виробами, захист від появи мікроподряпин, підвищення гідрофобності поверхні, покращення стійкості до абразивного зношування, підвищення механічної міцності.

За даними сучасних досліджень, застосування комбінованої системи Hot-End + Cold-End дозволяє підвищити опір внутрішньому тиску на 25–40 %, ударну міцність — на 20–35 %, а втрати склотари під час транспортування зменшити майже удвічі.

1.5 Інтенсифікація процесу варіння у ванних полум'яних печах і покращення якості скла

Виробництво сучасної скляної тари характеризується високими вимогами до якості продукції, енергоефективності та екологічної безпеки. Найбільш енергоємною стадією технологічного процесу є варіння скла, на яке припадає до 70–80 % загальних енергетичних витрат підприємства. Саме тому інтенсифікація процесу скловаріння у ванних полум'яних печах є одним із найважливіших напрямів розвитку сучасної технології тарного скла.

Основними завданнями інтенсифікації є скорочення тривалості варіння, підвищення продуктивності печей, зменшення питомих витрат палива, покращення однорідності скломаси, зниження кількості газових включень, шлірів, каменів і непровару, а також забезпечення стабільного хімічного складу готового скла [24].

1.5.1 Вплив сировинних матеріалів, складу скла та шихти

Процес варіння скла є складним комплексом фізико-хімічних явищ, що включає нагрівання шихти, розкладання карбонатів, утворення первинних силікатів, плавлення компонентів, силікатоутворення, гомогенізацію, освітлення та охолодження скломаси до температури формування. Ефективність кожної стадії значною мірою визначається якістю вихідної сировини, складом скла, гранулометричним складом шихти та режимом роботи печі [15].

Якість скломаси безпосередньо залежить від фізико-хімічних властивостей вихідної сировини. Основними компонентами натрій-кальцій-силікатного тарного скла є кварцовий пісок, кальцинована сода, вапняк, доломіт, польовий шпат, склобій та незначна кількість допоміжних матеріалів.

Найбільш ефективним способом інтенсифікації процесу варіння є введення до складу шихти очищеного сортованого склобою.

Склобій вже є готовим аморфним матеріалом, тому не потребує проходження стадій розкладання карбонатів і силікатоутворення. Його плавлення відбувається значно швидше, ніж первинної шихти. Збільшення

вмісту склобою до 50–70 % забезпечує скорочення тривалості варіння, зниження температури плавлення приблизно на 20–40 °С, зменшення питомих витрат природного газу та викидів діоксиду вуглецю [21].

Хімічний склад скла визначає не лише його експлуатаційні властивості, а й особливості процесу варіння. Для виробництва скляної тари переважно застосовується натрій-кальцій-силікатне скло, яке містить близько 70–74 % SiO_2 , 12–15 % Na_2O , 8–11 % CaO , 2–4 % MgO , 1–2 % Al_2O_3 та незначну кількість інших оксидів [19].

Збільшення вмісту кремнезему підвищує хімічну стійкість, твердість і термостійкість скла, однак одночасно збільшує температуру плавлення та в'язкість скломаси. Навпаки, підвищення концентрації оксидів натрію полегшує процес варіння, але знижує довговічність і водостійкість готових виробів.

Оксид кальцію стабілізує структуру скла, підвищує його механічну міцність та зменшує швидкість вилугування лужних компонентів. Магній додатково покращує стійкість до кристалізації та знижує схильність до утворення шлірів.

Оксид алюмінію виконує роль структурного модифікатора, підвищуючи механічну міцність, термостійкість і хімічну довговічність скла. Разом з тим його надлишок збільшує в'язкість скломаси та ускладнює процес освітлення.

Якість шихти є одним із визначальних чинників ефективності скловаріння. Під час приготування шихти особливу увагу приділяють точності дозування компонентів, їх вологості, гранулометричному складу та рівномірності перемішування.

Неоднорідність шихти призводить до локальних відмінностей у швидкості плавлення, виникнення шлірів, неоднорідності показника заломлення, утворення газових включень та залишків непровару.

Особливо небезпечним є явище сегрегації, при якому компоненти різної густини або різного розміру зерен розшаровуються під час транспортування. Для запобігання цьому застосовують зволоження суміші до 3–5 %, використання сучасних високоефективних змішувачів та автоматизованих систем дозування [24].

1.5.2 Способи поліпшення якості шихти

Якість шихти є одним із найважливіших факторів, що визначають ефективність процесу варіння скла, продуктивність скловарної печі та експлуатаційні властивості готової скляної тари. Шихта являє собою багатокомпонентну суміш природних і техногенних матеріалів, до складу якої входять кварцовий пісок, кальцинована сода, вапняк, доломіт, польовий шпат, сульфат натрію, склобій, а також барвники, знебарвлювачі й інші допоміжні компоненти. Кожний із цих матеріалів має різні фізико-хімічні властивості, тому якість їх підготовки безпосередньо впливає на перебіг процесів у скловарній печі [19].

Гранулометричний склад є одним із найважливіших параметрів, що визначає швидкість плавлення компонентів і рівномірність перебігу процесу варіння. Розмір частинок впливає на площу їх контакту між собою, інтенсивність теплообміну та швидкість хімічних реакцій.

Дрібнодисперсні компоненти мають більшу питому поверхню, що прискорює процес утворення силікатів і плавлення. Проте надмірне подрібнення призводить до підвищеного пиловиділення, втрат сировини під час транспортування та дозування, а також сприяє сегрегації суміші. Крім того, дуже дрібні частинки можуть злипатися, утворюючи агломерати, які погіршують рівномірність плавлення.

Навпаки, надто великі зерна кварцового піску або карбонатної сировини розчиняються повільніше, що збільшує тривалість варіння та може спричинити утворення непровару, кварцових залишків або інших дефектів скломаси [15].

Сучасні технології передбачають попередню класифікацію компонентів шихти за розміром частинок, що дозволяє підвищити однорідність суміші та скоротити тривалість варіння.

Повністю суха шихта характеризується підвищеним пиловиділенням, що призводить до втрат дрібнодисперсних компонентів, нерівномірності складу суміші та погіршення санітарно-гігієнічних умов виробництва. Крім того, пилові втрати можуть змінювати співвідношення компонентів шихти, що негативно впливає на хімічний склад скла.

Для зменшення пиловиділення шихту після змішування зазвичай зволожують. Оптимальна вологість для більшості складів тарного скла становить 3–5 %. Такий рівень забезпечує достатню зв'язність суміші, зменшує сегрегацію компонентів та покращує рівномірність завантаження печі [24].

Разом із тим надмірна вологість також небажана. При випаровуванні великої кількості води частина теплової енергії витрачається непродуктивно, що збільшує питомі витрати палива. Крім того, інтенсивне пароутворення може сприяти спучуванню поверхневого шару шихти та погіршенню теплопередачі.

Тому сучасні системи приготування шихти оснащуються автоматичними пристроями контролю вологості, які підтримують її на оптимальному рівні.

Однорідність шихти характеризує рівномірність розподілу всіх компонентів у суміші та є одним із найважливіших показників її якості.

Недостатнє перемішування призводить до локальних відхилень у хімічному складі, що викликає неоднакову швидкість плавлення окремих ділянок шихти.

Для забезпечення високої однорідності використовують сучасні змішувачі безперервної або періодичної дії, обладнані автоматизованими системами контролю тривалості перемішування та рівномірності розподілу компонентів [15].

Насипна густина характеризує масу одиниці об'єму сипкої суміші разом із міжзерновими порожнинами. Цей показник визначає умови завантаження шихти у скловарну піч, інтенсивність теплообміну та швидкість плавлення.

Шихта з низькою насипною густиною містить значну кількість повітряних порожнин, що знижує коефіцієнт теплопередачі та збільшує тривалість нагрівання.

З іншого боку, надто висока насипна густина може погіршувати газопроникність шару шихти та ускладнювати видалення газів, які утворюються при розкладанні карбонатів.

Для підвищення насипної густини сучасні підприємства застосовують технології гранулювання або брикетування шихти.

Суть процесу гранулювання полягає в утворенні із дрібнодисперсної

суміші округлих гранул діаметром 3–10 мм шляхом зволоження, перемішування та ущільнення.

Гранульована шихта характеризується більшою механічною міцністю, підвищеною насипною густиною та кращою сипкістю. Під час транспортування гранули практично не руйнуються, тому втрати пилоподібних компонентів значно зменшуються. Крім того, кожна гранула містить усі складові шихти у необхідному співвідношенні, що практично усуває сегрегацію [24].

Під час нагрівання гранульована шихта швидше переходить у пластичний стан, прискорюється утворення первинного силікатного розплаву, зменшується тривалість плавлення та освітлення скломаси. За даними сучасних досліджень, використання гранульованої шихти дозволяє скоротити тривалість варіння на 8–15 %, знизити питомі витрати природного газу на 5–10 % та підвищити продуктивність печі на 5–8 % [24].

Ще відомий інший спосіб покращення технологічних властивостей шихти – брикетування. При цьому порошкоподібні компоненти пресують під високим тиском із формуванням компактних брикетів різної форми.

Брикети мають високу насипну густину, не пилять, не розшаровуються під час транспортування та забезпечують стабільний склад матеріалу, який надходить у піч. У процесі плавлення вони поступово руйнуються, що сприяє рівномірному протіканню фізико-хімічних процесів [24].

1.6 Висновки

Проведений аналіз науково-технічної літератури, нормативних документів і сучасних публікацій вітчизняних та закордонних дослідників свідчить, що виробництво скляної тари залишається одним із найважливіших напрямів розвитку скляної промисловості. Незважаючи на активне використання полімерних, металевих та комбінованих видів упаковки, скло зберігає провідні позиції у виробництві тари для харчової, фармацевтичної та косметичної продукції завдяки своїй хімічній інертності, екологічній безпечності, можливості багаторазового використання та необмеженій кількості циклів перероблення без втрати експлуатаційних властивостей.

Сучасне виробництво полегшеної скляної тари базується на комплексному поєднанні оптимізованої конструкції виробів, високоточного формування методом вузькогорлого пресовидування (NNPB), автоматизованого контролю геометричних параметрів та застосування багат шарових зміцнювальних покриттів. Саме комплексне використання цих технологій дозволяє суттєво зменшити масу скляної тари без втрати її експлуатаційної надійності, що є одним із головних напрямів розвитку світової скляної промисловості.

В Україні, незважаючи на негативний вплив воєнних дій та економічних викликів останніх років, склотарна промисловість поступово відновлює виробничі потужності, орієнтуючись на потреби внутрішнього ринку та експорт продукції, а також на впровадження сучасних енергоефективних технологій.

Розглянутий асортимент скляної тари засвідчив, що найбільшу частку виробництва становлять вузькогорлі пляшки та широкогорлі банки різної місткості для харчових продуктів і напоїв.

Аналіз чинної нормативної бази показав, що виробництво скляної тари регламентується системою міжнародних стандартів ISO, європейських стандартів EN, національних стандартів ДСТУ та технічних умов підприємств. Основні вимоги стосуються геометричних параметрів виробів, механічної міцності, термічної та хімічної стійкості, безпечності контакту скла з харчовими продуктами, а також методів контролю якості готової продукції. Гармонізація українських нормативних документів із європейськими вимогами створює передумови для підвищення конкурентоспроможності вітчизняної скляної тари.

Встановлено, що вирішальний вплив на процес варіння скла та якість готової продукції мають властивості сировинних матеріалів, хімічний склад скла і технологічні характеристики шихти. Чистота сировини, оптимальний гранулометричний склад, вологість, однорідність, насипна густина та відсутність сегрегації забезпечують рівномірний перебіг фізико-хімічних процесів у скловарній печі, прискорюють силікатоутворення, покращують

освітлення й гомогенізацію скломаси та сприяють зменшенню кількості технологічних дефектів.

Особливу увагу приділено сучасним способам покращення якості шихти. Показано, що застосування гранулювання, брикетування, оптимізації гранулометричного складу та широкого використання високоякісного склобою дозволяє істотно інтенсифікувати процес скловаріння, зменшити тривалість плавлення, підвищити продуктивність печей і забезпечити стабільну якість скломаси.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Вибір та обґрунтування складу скла та сировинних матеріалів

Склад скла є одним із найважливіших факторів, що визначає технологічні властивості скломаси, продуктивність скловарної печі, умови формування виробів, а також експлуатаційні характеристики готової продукції. При проектуванні виробництва полегшеної скляної тари особливу увагу приділяють підбору такого складу, який забезпечував би високу механічну міцність виробів при мінімальній масі, достатню хімічну стійкість, термостійкість, технологічність варіння та економічність виробництва [1–4].

Для виробництва харчової скляної тари найбільшого поширення набуло натрій-кальцій-силікатне скло. За даними міжнародних досліджень, понад 90 % усієї скляної тари у світі виготовляють саме з цього виду скла, що пояснюється оптимальним поєднанням фізико-хімічних властивостей, доступністю сировини та відносно низькою собівартістю виробництва [2].

У сучасних умовах розвитку скляної промисловості одним із головних напрямів є виробництво полегшеної тари. Зменшення маси пляшок і банок на 15–30 % дозволяє скоротити витрати сировини, знизити споживання природного газу або електроенергії, зменшити викиди CO₂ та витрати на транспортування готової продукції. Водночас зменшення товщини стінок виробів потребує підвищення однорідності структури скла та забезпечення високої механічної міцності [5, 12].

Обраний наступний склад скла, мас. %: SiO₂ – 72,6; Al₂O₃ – 2,2; CaO – 12,3; MgO – 0,3; Na₂O – 12; K₂O – 0,6; SO₃ – 0,4; Fe₂O₃ – 0,1.

Запропонований склад відповідає сучасним рецептурам натрій-кальцій-силікатного скла, які використовуються провідними світовими виробниками скляної тари, зокрема Vetropack, Ardagh Glass Packaging, Verallia та BA Glass [7, 23].

Для забезпечення цього складу будемо використовувати наступні сировинні матеріали: кварцовий пісок, вапняк, польові шпати, сода, сульфат натрію.

Особливу увагу під час вибору складу приділено вмісту оксидів заліза. Fe_2O_3 є основною забарвлюючою домішкою, яка навіть у невеликих концентраціях надає склу зеленуватого або жовтуватого відтінку. Для виробництва безбарвної скляної тари вміст оксидів заліза повинен бути мінімальним. Саме тому до скла шихти включають високоякісний кварцовий пісок із низьким вмістом заліза та ретельно контролюють чистоту інших компонентів [15].

Вибір та обґрунтування сировинних матеріалів здійснено з опором на сировинну базу України.

Пісок

Кварцовий пісок є основним сировинним компонентом для скляного виробництва. З піском у скло вводиться кислотний оксид SiO_2 , що є основним склоутворюючим оксидом. Якість піску характеризується його гранулометричним та хімічним складом. Основною вимогою, що пред'являється до піску є висока хімічна однорідність і високий відсоток вмісту кремнезему (98,5-99,8%). Шкідливими домішками є оксиди заліза, хрому, титану, тощо. Ці оксиди забарвлюють скло у небажаний колір. Вміст оксидів заліза для безбарвного скла не має перевищувати 0,3 % [24].

Найбільш доцільно для варіння скла застосовувати піски з величиною зерен 0,15-0,40 мм. Кількість зерен розміром більше 0,8 і менше 0,1 мм повинна бути мінімальною, адже великі зерна проварюються дуже повільно, дрібні – уповільнюють процес освітлення, збираючи на собі віночок з дрібних бульбашок [15].

У проєкті передбачено використання піску Новоселівського родовища. Цей пісок має високий вміст SiO_2 (99,53 %), мінімальний вміст оксидів заліза (до 0,042), а також сприятливий зерновий склад (фракції від 0,417 до 0,208 мм – 55,8 %, від 0,208 до 0,124 мм – 41,19 %).

Вапняк

Для введення до складу скла оксиді кальцію застосовують вапняк. Оксид кальцію додає склу механічну міцність і хімічну стійкість. CaO знижує температуру плавлення та в'язкість, тобто полегшує варіння і освітлення

скломаси [6]. СаО при температурах варіння діє подібно лужним оксидам, які прискорюють провар шихти, а при температурі виробітки збільшує швидкість твердіння і продуктивність склоформуючих машин. Оксид кальцію вступає в реакцію з кремнеземом при порівняно низькій температурі, що також є цінною властивістю. Для вапняка вміст основної речовини (CaCO_3) повинен бути не менш за 98 %, оксидів заліза не більш за 0,2%. У проєкті передбачено застосування вапняку Тернопільського кар'єра.

Сода

Сода є основним сировинним матеріалом для введення до складу скла Na_2O . Оксид натрію пришвидшує процес склоутворення, знижує температуру топлення і в'язкість скла, тим самим полегшуючи освітлення скляної маси, підвищує ТКЛР та густину, знижує термостійкість і хімічну стійкість скла, а також здатність скла до кристалізації, електричний опір, мікротвердість, поверхневий натяг, підвищує діелектричну проникність [25]. Сода для скляного виробництва повинна мати не менше 95 % Na_2SO_4 , а заліза не більше 0,02 %. У проєкті передбачено використання легкої соди марка (зерна розміром 0,1 мм) виробництва заводу "Лисичанська сода" яка відповідає ГОСТ 5100-85. Сода марки Б другого гатунку, яка містить Na_2CO_3 99 %, NaCl не більше 0,8 %, Fe_2O_3 не більше 0,008 %.

Польові шпати

Через польові шпати вводять оксиди силіцію, алюмінію, натрію, калію. Тобто ця сировина є комплексною. Зменшує потребу в дорогій синтетичній соді (найдорожчий базовий компонент шихти). Глинозем, отриманий методом Байера з бокситів, у разі дорожчий за кар'єрний польовий шпат. Польові шпати виступають потужними плавнями (флюсами). Присутність зв'язаних лугів разом із кремнеземом та глиноземом утворює низькотемпературні евтектики [24]. Це знижує загальну температуру варіння шихти у печі, суттєво економлячи природний газ або електроенергію. Алюміній з польового шпату вбудовується в силікатний каркас скла, блокуючи міграцію іонів натрію на поверхню тари. Це підвищує водостійкість і стійкість до агресивних рідин (алкоголь, газовані напої, харчові кислоти). Скло отримує вищий опір до ударів

на лініях розливу та краще витримує термічний шок під час пастеризації чи стерилізації продуктів. При заміні Na_2O на K_2O в'язкість скляної маси підвищується, зростає швидкість твердіння та поверхневий натяг при формуванні виробів. K_2O вводить до скла у невеликій кількості для покращення зовнішнього вигляду та виробіткових властивостей скломаси [25]. При використанні чистого піску та глинозему швидкість дифузії Al^{3+} у в'язкий кремнеземистий розплав вкрай низька. Це часто призводить до появи технологічного браку – «каменів» (непроплавлених зерен глинозему) та «хорд» (неоднорідностей). Польовий шпат розчиняється у силікатній матриці швидше та рівномірніше. У патентній літературі, що стосується високошвидкісного формування пляшок на склоформуючих машинах (IS-машинах), зазначається, що введення Al_2O_3 через польовий шпат дозволяє точно контролювати «довжину» скла (інтервал затвердіння). Воно запобігає кристалізації розплаву (девітрифікації) при охолодженні та стабілізує в'язкість при формуванні шийки та дна тари. Для виробництва скляної тари обрані польові шпати Майдан-Вільського кар'єру (Хмельницька область).

Сульфат натрію

Оксид натрію у шихту можна вводити сульфатом натрію. Ця речовина пришвидшує процес варіння скла за рахунок того, що змочує зерна кварцу, і знижуючи поверхневий натяг скляної маси, пришвидшує процес освітлення. Враховуючи високу температуру розкладу, разом із сульфатом у шихту вводять відновник (вугілля, кокс, тощо). Доцільно вводити сульфат для покращення умов варіння (освітлення) в невеликій кількості [15]. Так, у проєкті передбачено введення сульфату для забезпечення 0,7 % Na_2O , в цьому випадку відновник не потрібен. У скляній промисловості застосовується штучний сульфат натрію у вигляді білого порошку або гранул вищого, 1-го, та 2-го гатунків. У проєкті передбачене використання штучного сульфату заводу “Черкаське хімволокно” першого гатунку із вмістом Na_2SO_4 99,6 %, CaSO_4 0,01 %, заліза 0,003 %.

Сульфатний ангідрид (SO_3) вводять у невеликій кількості як освітлювач скломаси. У процесі варіння він бере участь у видаленні газових включень, прискорює дегазацію розплаву та покращує його гомогенність. Це дозволяє

зменшити кількість пухирців і підвищити оптичну якість скла [19].

Під час розроблення складу враховували також сучасні вимоги до екологічності виробництва. Збільшення частки склобою у шихті дозволяє істотно скоротити витрати природного газу, зменшити температуру варіння та скоротити викиди парникових газів. За даними FEVE, використання кожних 10% склобою забезпечує економію приблизно 2,5–3 % енергії та зменшення викидів CO₂ на 4–5 % [5].

Склобій

Склобій вводиться для прискорення процесу варки скла та економії ресурсів. Співвідношення бою і шихти 30 : 70 відповідно. Використовується скляні злами, які утворюються як на власному виробництві, так і покупні. По хімічному складу склобій повинен бути подібний до складу скла що виробляється та не мати сторонніх предметів (металу, каміння, вогнетривів, тощо) [7].

Хімічний склад обраних сировинних матеріалів наданий у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад обраних сировинних матеріалів

Сировина	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	в.п.п.
Пісок Новоселівський	99,6	0,15	0,05	0,03	0,05	-	0,07	0,1
Вапняк Тернопільський	0,7	0,3	54,7	1,2			0,1	43,0
Польові шпати Майдан-Вільського родовища	76,2	14,8	0,8	0,15	3,75	4,2	0,1	-
Сода кальцинована		-	-	-	58,3	-	0,01	41,69
Сульфат натрію	-	-	-	-	43,53	-	-	56,47

Знебарвлювачі

Для знебарвлення натрій-кальцій-силікатного скла використовуємо комплексне знебарвлення хімічним (оксид церію) та фізичним (оксид кобальту та елементарний селен) знебарвлювачами [15]. Склад рекомендованого

комплексного знебарвлювача наступний (на 100 кг скляної маси понад 100 % основного складу), мас. %:

$\text{CeO}_2 - 0,06$

$\text{Co}_2\text{O}_3 - 0,0001$

$\text{Se} - 0,002.$

2.2 Розрахунок фізико-хімічних властивостей тарного скла

Визначення різних фізико-хімічних властивостей скла розрахунковими методами є важливою частиною теоретичних експериментів і практичної роботи технолога. В цьому дипломному проєкті був проведений розрахунок основних фізико-хімічних властивостей скла за адитивними методами.

Щільність скла

Щільність скла є відношення маси скла до його об'єму, кг/м^3 :

$$S = m/v$$

Розрахунок ведемо за адитивною формулою:

$$d = \frac{100000}{\frac{a_1}{\alpha_1} + \frac{a_2}{\alpha_2} + \frac{a_3}{\alpha_3} + \dots + \frac{a_n}{\alpha_n}} \quad (2.1)$$

де a – вміст оксидів у склі мас. %;

α – відповідний коефіцієнт щільності [26] (табл. 2.2)

$$d = \frac{100000}{\frac{72,6}{2,24} + \frac{2,2}{2,75} + \frac{12}{4,3} + \frac{0,6}{3,25} + \frac{12}{3,2} + \frac{0,6}{3,78}} = 2492 \text{ кг/м}^3.$$

Таблиця 2.2 – Коефіцієнти щільності оксидів, що входять до складу скла

Оксиди	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O
Хімічний склад, мас. %	72,6	2,2	12	0,6	12	0,6
Коефіцієнти	2,24	2,75	4,3	3,25	3,2	3,2

Модуль пружності, МПа, визначається за наступною адитивною

формулою:

$$E = P_1C_1 + P_2C_2 + \dots + P_nC_n, \quad (2.2)$$

де P_1, P_2, \dots, P_n – вміст оксидів у склі, мас. %;

C_1, C_2, \dots, C_n – коефіцієнт пружності при стисканні відповідного оксиду (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Коефіцієнти пружності оксидів, що входять до складу скла

Оксиди	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
Хімічний склад, мас. %	72,6	2,2	12	0,6	12	0,6
Коефіцієнти	700	1800	700	400	610	–

$$E = 72,6 \cdot 700 + 2,2 \cdot 1800 + 12 \cdot 700 + 0,6 \cdot 400 + 12 \cdot 610 = 70740 \text{ МПа.}$$

Міцність скла на розтяг, МПа, розраховується за такою адитивною формулою:

$$\sigma_{\text{роз}} = P_1N_1 + P_2N_2 + \dots + P_nN_n, \quad (2.3)$$

де P_1, P_2, \dots, P_n – вміст оксидів у склі, мас %;

N_1, N_2, \dots, N_n – коефіцієнт міцності на розтяг відповідного оксиду (табл. 2.4).

Таблиця 2.4 – Коефіцієнти міцності оксидів, що входять до складу скла

Оксиди	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
Хімічний склад, мас. %	72,6	2,2	12	0,6	12	0,6
Коефіцієнти	0,9	0,05	2	0,1	0,2	0,1

$$\sigma_{\text{роз}} = 72,6 \cdot 0,9 + 2,2 \cdot 0,05 + 12 \cdot 2 + 0,6 \cdot 0,1 + 12 \cdot 0,2 + 0,6 \cdot 0,1 = 92,61 \text{ МПа.}$$

Твердість скла (МПа) - розуміють властивість матеріалу чинити опір при дії зовнішньої напруги не руйнуючись.

Розрахунок здійснюємо за адитивною формулою:

$$H = P_1 Y_1 + P_2 Y_2 + \dots + P_n Y_n, \quad (2.4)$$

де P_1, P_2, \dots, P_n – вміст оксидів у склі, мас %;

Y_1, Y_2, \dots, Y_n – коефіцієнт твердості відповідного оксиду (табл. 2.5).

Таблиця 2.5 – Коефіцієнти твердості оксидів, що входять до складу скла

Оксиди	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
Хімічний склад, мас. %	72,6	2,2	12	0,6	12	0,6
Коефіцієнти	0,332	0,101	-0,638	–	-0,265	0,39

$$H = 72,6 \cdot 0,332 + 2,2 \cdot 0,101 - 12 \cdot 0,638 - 12 \cdot 0,265 + 0,6 \cdot 0,39 = 13,72 \text{ МПа.}$$

Теплопровідність (Вт/м·°C) – це здатність матеріалу проводити тепло. Теплопровідність скла вимірюється кількістю тепла, що проникає через одиницю площі за одиницю часу при температурному градієнті, що дорівнює одному °C [25].

$$\lambda \cdot 10^3 = \lambda_1 P_1 + \lambda_2 P_2 + \dots + \lambda_n P_n, \quad (2.5)$$

де $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ – коефіцієнт теплопровідності відповідного оксиду (табл. 2.6)

P_1, P_2, \dots, P_n – вміст оксидів у склі, мас. %.

Таблиця 2.6 – Коефіцієнти теплопровідності оксидів, що входять до складу скла

Оксиди	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
Хімічний склад, мас. %	72,6	2,2	12	0,6	12	0,6
Коефіцієнти	8,7	10,7	11,6	3,14	12,8	5,8

$$\lambda = 72,6 \cdot 8,7 + 2,2 \cdot 10,7 + 12 \cdot 11,6 + 0,6 \cdot 3,14 + 12 \cdot 12,8 + 0,6 \cdot 5,8 = 0,9533 \text{ Вт/м·°C.}$$

Розрахунок температурного коефіцієнту лінійного розширення (ТКЛР), 1/°C проводять за наведеною адитивною формулою:

$$\alpha = (\alpha_1 P_1 + \alpha_2 P_2 + \dots + \alpha_n P_n) \cdot 10^{-7}, \quad (2.6)$$

де $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ – коефіцієнт ТКЛР відповідних оксидів (табл. 2.7);

P_1, P_2, \dots, P_n – вміст оксидів у склі, мас. %.

Таблиця 2.7 – Коефіцієнти ТКЛР оксидів, що входять до складу скла

Оксиди	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
Хімічний склад, мас. %	72,6	2,2	12	0,6	12	0,6
Коефіцієнти	0,05	0,17	1,66	0,45	4,32	3,9

$$\alpha = (72,6 \cdot 0,05 + 2,2 \cdot 0,17 + 12 \cdot 1,66 + 0,6 \cdot 0,45 + 12 \cdot 4,32 + 0,6 \cdot 3,9) \cdot 10^{-7} = 78,37 \cdot 10^{-7} \text{ 1/}^\circ\text{C}.$$

2.3 Розрахунок шихти

Розрахунок складу шихти виконано на основі прийнятого хімічного складу скла та обраних сировинних матеріалів. Під час розрахунку приймають, що в процесі варіння скла карбонатні, сульфатні та інші мінеральні компоненти шихти зазнають термічного розкладання. До складу скломаси переходять лише оксиди, тоді як волога, діоксид вуглецю та інші газоподібні продукти розкладу видаляються з розплаву.

Певна частина летких компонентів може залишатися у скломасі. Зокрема, оксид сірки (SO₃), що утворюється при розкладанні сульфату натрію, частково переходить до скла і впливає на процеси освітлення та дегазації розплаву. Однак фактичний вміст SO₃ у готовому склі залежить від температурного режиму варіння, тривалості витримки розплаву, окисно-відновних умов у печі та інтенсивності газовиділення. Тому при розрахунку шихти його вміст приймають умовно на рівні 0,3 мас.%, що відповідає рекомендаціям для натрій-кальцій-силікатного тарного скла.

При визначенні кількості сировинних матеріалів також враховують технологічні втрати лужних компонентів у процесі варіння. Для кальцинованої соди та сульфату натрію прийнято втрати у розмірі 1 %, що компенсує часткове

випаровування лужних сполук і забезпечує отримання скла заданого хімічного складу.

У проєкті прийнято содово-сульфатну шихту з вологістю 5 %. Введення оксиду натрію здійснюється переважно кальцинованою содою (95,5 % від загальної кількості Na_2O), а решта (4,5 % Na_2O) забезпечується введенням сульфату натрію. Таке співвідношення сприяє інтенсифікації процесів освітлення скломаси, покращує дегазацію розплаву та забезпечує стабільність процесу варіння.

Для створення необхідних окисно-відновних умов і відновлення сульфату натрію до шихти вводять відновник – дрібнодисперсне кам'яне вугілля або кокс. Відповідно до технологічних рекомендацій, його кількість становить 6–8 % від маси введеного сульфату натрію. У даному проєкті прийнято витрату вугілля 6,8 % від маси сульфату натрію, що забезпечує ефективне протікання процесів освітлення скломаси без надмірного відновлення розплаву.

Такий підхід до розрахунку шихти дозволяє забезпечити отримання скломаси необхідного хімічного складу, мінімізувати втрати сировини, підвищити ефективність процесу варіння та отримати якісне тарне скло з високими експлуатаційними властивостями.

В якості вихідних даних для розрахунку шихти у таблицях 2.8 і 2.9 представлено склад скла і хімічний склад сировинних матеріалів відповідно:

Таблиця 2.8 – Хімічний склад скла

Вміст оксидів, %						
SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	$\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$	Fe_2O_3	SO_3
72,6	2,2	12,3	0,3	12,6	0,1	<0,4

Таблиця 2.9 – Хімічний склад сировинних матеріалів

Сировина	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	Fe_2O_3	в.п.п.
Пісок	99,6	0,15	0,05	0,03	0,05	-	0,07	0,1
Вапняк	0,7	0,3	54,7	1,2			0,1	43,0
Польовий шпат	76,2	14,8	0,8	0,15	3,75	4,2	0,1	-
Сода кальцинована		-	-	-	58,3	-	0,01	41,69
Сульфат натрію	-	-	-	-	43,53	-	-	56,47

Розрахунок розпочинають з того оксида скла, який вводиться найменшою кількістю сировинних матеріалів. В цьому випадку таким оксидом є CaO, оскільки міститься лише у вапняку.

Розрахунок вапняку

CaO вводиться у скло вапняком. Визначаємо кількість вапняку в шихті, необхідну для введення у скло 12,3 мас. ч. CaO.

Кількість вапняку в шихті розраховуємо, так:

$$100 \text{ мас. ч. вапняку внесене у скло } 54,7 \text{ мас. ч. CaO};$$

x мас. ч. вапняку потрібно для введення у скло 12,3 мас. ч. CaO.

Отже: $x = 22,76$ мас. ч. вапняку.

З вапняком до складу скла вводяться:

$$\text{SiO}_2 - 22,76 \cdot 0,007 = 0,16 \text{ мас. ч.}$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 - 22,76 \cdot 0,003 = 0,068 \text{ мас. ч.}$$

$$\text{MgO} - 22,76 \cdot 0,012 = 0,3 \text{ мас. ч.}$$

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 - 22,76 \cdot 0,001 = 0,0228 \text{ мас. ч.}$$

Розрахунок польового шпату

Al₂O₃ вводиться у скло польовим шпатом.

100 мас. ч. польового шпату містить 14,8 мас. ч. Al₂O₃;

x мас. ч. польового шпату потрібно взяти для введення у скло (2,2 – 0,068) мас. ч. Al₂O₃.

Звідси $x = 13,77$ кг польового шпату.

З польового шпатом до складу скла вводяться:

$$\text{SiO}_2 - 13,77 \cdot 0,762 = 10,49 \text{ мас. ч.}$$

$$\text{CaO} - 13,77 \cdot 0,008 = 0,11 \text{ мас. ч.}$$

$$\text{MgO} - 13,77 \cdot 0,0015 = 0,02 \text{ мас. ч.}$$

$$\text{Na}_2\text{O} - 13,77 \cdot 0,0375 = 0,516 \text{ мас. ч.}$$

$$\text{K}_2\text{O} - 13,77 \cdot 0,042 = 0,578 \text{ мас. ч.}$$

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 - 13,77 \cdot 0,001 = 0,014 \text{ мас. ч.}$$

Розрахунок соди

З содою до складу скла вводиться 95,5 % Na₂O, тобто 11,842 % Na₂O від загальної кількості Na₂O у склі, що дорівнює 12,4 %.

$$11,842 - 0,0516 = 11,34 \text{ мас. ч.}$$

100 мас. ч. соди містить 58,3 мас. ч. Na_2O ;

x мас. ч. соди треба взяти для введення 11,34 мас. ч. Na_2O .

Отже: $x = 19,45$ мас. ч. соди.

З содою до складу скла вводиться:

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 - 19,45 \cdot 0,0001 = 0,002 \text{ мас. ч.}$$

Розрахунок сульфату натрію

З сульфатом натрію вводиться 4,5 % Na_2O , тобто 0,558 % Na_2O від загальної кількості Na_2O у склі, що дорівнює 12,4 %.

100 мас. ч. сульфату натрію містить 43,53 мас. ч. Na_2O ;

x мас. ч. сульфату натрію треба взяти для введення 0,558 мас. ч. Na_2O .

Отже: $x = 0,73$ мас. ч. сульфату натрію.

Розрахунок піску

SiO_2 вводиться у склад скла піском. Деяка кількість SiO_2 уже введена у скло вапняком, польовим шпатом, отже, залишається ввести SiO_2 :

$72,6 - 0,16 - 10,49 = 61,95$ мас. ч. визначаємо кількість піску в шихті саме за цією кількістю SiO_2 :

100 мас. ч. піску містить 99,6 мас. ч. SiO_2 ;

x мас. ч. піску необхідно взяти для введення у скло 61,95 мас. ч. SiO_2 .

Звідси $x = 62,16$ мас. ч. піску.

З піском до складу скла вводяться:

$$\text{Al}_2\text{O}_3 - 62,16 \cdot 0,0015 = 0,093 \text{ мас. ч.}$$

$$\text{CaO} - 62,16 \cdot 0,0005 = 0,031 \text{ мас. ч.}$$

$$\text{MgO} - 62,16 \cdot 0,0003 = 0,018 \text{ мас. ч.}$$

$$\text{Na}_2\text{O} - 62,16 \cdot 0,0005 = 0,031 \text{ мас. ч.}$$

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 - 62,16 \cdot 0,0007 = 0,043 \text{ мас. ч.}$$

Кількість домішок, які увійдуть у склад скла з сировинними матеріалами, можна не враховувати через незначні величини.

Вугілля

У шихту вводиться 6,8 % вугілля від кількості сульфату натрію. В перерахунку на даний вміст сульфату, кількість вугілля складає:

$$0,73 \cdot 0,068 = 0,09 \text{ мас. ч. вугілля.}$$

Результати розрахунку зведено у таблицю 2.10.

Таблиця 2.10 – Зведена таблиця сировинних матеріалів

Найменування матеріалу	Рецепт шихти на 100 кг скломаси	Вміст оксидів, %					
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃
Пісок	62,16	61,91	0,09	0,03	0,02	0,03	0,04
Вапняк	22,76	0,16	0,07	12,45	0,27		0,02
Польовий шпат	13,77	10,49	2,04	0,11	0,02	0,52 + 0,58 (K ₂ O)	0,01
Сода кальцинована	19,45					11,34	
Сульфат натрію	0,73					0,32	
Вугілля	0,09	-	-	-	-	-	-
Всього	118,96	72,56	2,2	12,59	0,31	12,79	0,07

Кількість шихти на 100 кг скломаси складає 118,96 мас. ч., тоді на вигар шихти складає $118,96 - 100 = 18,96$ мас. ч., або $(18,96 \cdot 100) / 118,9 = 15,94$ %

Вихід скломаси у відсотках:

$$100 - 15,89 = 84,06 \text{ мас. ч. скломаси.}$$

Розрахунок кількості шихти на добу

Враховуючи, що продуктивність шихтоскладального цеху становить 100000 тонн на рік, з яких 30 % складають склобій, то знаходимо, що

$$100000 : 365 = 273,97 \text{ т/добу;}$$

або

$$273,97 : 3 = 91,32 \text{ т/зміну.}$$

2.4 Розрахунок виробничої програми

Розрахунок витрати сировинних матеріалів

Розрахуємо кількість шихти для виготовлення 84060 т скломаси.

Для 273,97 тонн шихти, враховуючи 30 % склобою, необхідна така кількість сировинних матеріалів:

$$273,97 \cdot 0,7 = 191,78 \text{ т}$$

$$\text{Піску: } \frac{191,78 \cdot 62,16}{118,96} = 100,21 \text{ т}$$

$$\text{Вапняку: } \frac{191,78 \cdot 22,76}{118,96} = 36,69 \text{ т}$$

$$\text{Польовий шпат: } \frac{191,78 \cdot 13,77}{118,96} = 22,2 \text{ т}$$

$$\text{Сода: } \frac{191,78 \cdot 19,45}{118,96} = 31,35 \text{ т}$$

$$\text{Сульфату: } \frac{191,78 \cdot 0,73}{118,96} = 1,18 \text{ т}$$

$$\text{Вугілля: } \frac{191,78 \cdot 0,09}{118,96} = 0,105 \text{ т}$$

Розрахунок добової витрати сировинних матеріалів з обліком втрат

У розрахунку приймаються такі витрати сировини при її обробці:

Пісок – 1 %, вапняк – 8 %, сода – 2 %, вугілля – 1 %, польовий шпат – 1 %, натрію сульфат – 3 %.

Тоді витрата сировинних матеріалів з обліком втрат складає:

$$\text{Пісок} \quad 100,21 \cdot 1,01 = 101,21 \text{ т}$$

$$\text{Вапняк} \quad 36,69 \cdot 1,08 = 39,62 \text{ т}$$

$$\text{Польовий шпат} \quad 22,2 \cdot 1,01 = 22,42 \text{ т}$$

$$\text{Сода} \quad 31,35 \cdot 1,02 = 31,98 \text{ т}$$

$$\text{Сульфат натрію} \quad 1,18 \cdot 1,03 = 1,22 \text{ т}$$

$$\text{Вугілля} \quad 0,105 \cdot 1,01 = 0,106 \text{ т}$$

Результати розрахунку зведено у таблицю 2.11.

Таблиця 2.11 – Зведена таблиця витрат сировини

Найменування матеріалу	Витрата сировини			
	т/зміну	т/добу	т/місяць	т/рік
Пісок	33,74	101,21	3078,47	36941,65
Вапняк	13,2	39,62	1205,1	14461,3
Польовий шпат	7,47	22,42	681,94	8183,3
Сода	10,66	31,98	972,72	11672,7
Сульфат	0,41	1,22	37,1	445,3
Вугілля	0,035	0,106	3,22	38,69

2.5 Розрахунок шихтоскладального цеху

Сировинні матеріали не завжди поступають на скляні заводи у підготовленому вигляді, у зв'язку з чим доводиться приводити різні операції по їх обробці. Шихтоскладальні цехи призначені для підготовки сировинних матеріалів (кожен вид сировини проходить свою лінію попередньої обробки) та приготування шихти шляхом змішування окремих компонентів у необхідній пропорції.

На скляних заводах шихтоскладальні цехи складаються з двох відокремлених приміщень, одне з яких займають склад сировинних матеріалів та обладнання для їх обробки (підготовче відділення), а в іншому розташоване дозувально-змішувальне відділення, в якому знаходиться витратні бункери підготовлених сировинних матеріалів, автоматична вагова лінія, збірний стрічковий конвеєр, запасні бункери шихти.

У шихтоскладальному цеху проєктом передбачено:
автоматизація процесів зважування та змішування шихти;
максимальна механізація розвантажувальних робіт;
застосування пневмотранспорту.

2.5.1 Розрахунок площі складських приміщень для сировинних матеріалів

Кожен вид сировини повинен зберігатися в умовах, котрі виключають його забруднення або змішування різних матеріалів. Склади сировинних матеріалів і складальні цехи розташовуються в одній будівлі, яка складається з трьох приміщень:

- складу матеріалів, що перевозяться в тарі;
- складу матеріалів, що перевозяться навалом;
- складального цеху з відділеннями підготовки компонентів і приготування шихти.

Пісок, вапняк, польовий шпат, склобій складаються навалом, сода, сульфат натрію привозяться у мішках. Склад матеріалів, що поставляються у тарі, є продовженням складу матеріалів, що поставляються навалом.

Площа складських приміщень для матеріалів, які складаються навалом розраховується за формулою, м²:

$$F = \frac{d \cdot l}{\gamma \cdot h \cdot K_n}, \quad (2.7)$$

- де d – добова витрата матеріалу, т;
 l – норма запасу матеріалу, доба;
 γ – насипна вага матеріалу, т/м³;
 h – висота насипу матеріалу, м;
 K_n – коефіцієнт корисної площі складу.

Норми запасів сировинних матеріалів приймаємо 30 діб. Висота насипу піску та кускових сировинних матеріалів становить 6-8 м, мішків із сипучими матеріалами – 4-6 м. Коефіцієнт корисної площі для насипних матеріалів – 0,8, для тарних – 0,6.

Дані про сировину зведено в таблиці 2.12.

Площа відсіку для піску становить: $30 \cdot 101,21 / (1,7 \cdot 0,8 \cdot 8) = 279,07 \text{ м}^2$;

для вапняку: $30 \cdot 39,62 / (1,7 \cdot 0,8 \cdot 6) = 145,66 \text{ м}^2$;

для польового шпату: $30 \cdot 22,42 / (1,7 \cdot 0,8 \cdot 6) = 82,42 \text{ м}^2$;

для склобою: $30 \cdot 82,19 / (1,5 \cdot 0,8 \cdot 6) = 342,46 \text{ м}^2$.

Таблиця 2.12 – Характеристика сировини

Матеріал	Норма запасу l , доба	Добова витрата матеріалу d , т	Насипна вага γ , т/м ³	Коефіцієнт корисної площі складу, K_n	Висота засипки або укладки мішків h , м
Пісок	30	101,21	1,7	0,8	8
Вапняк	30	39,62	1,7	0,8	6
Польовий шпат	30	22,42	1,7	0,8	6
Сода кальцинована	30	31,98	0,8	0,6	4
Сульфат натрію	30	1,22	1,1	0,6	4
Склобій	30	82,19	1,5	0,8	6

Розрахуємо площу складу для матеріалів, які постачаються у мішках розміром $0,6 \times 0,3 \times 0,25 \text{ м}^2$. Об'єм таких мішків $0,045 \text{ м}^3$. Вага визначається за формулою: $m = \gamma \cdot V$

Маса мішка із содою: $0,8 \cdot 0,045 = 0,036 \text{ т}$;

із сульфатом: $1,1 \cdot 0,045 = 0,0495 \text{ т}$.

На добу потрібно $31,98 / 0,036 = 888,3$ мішків соди;

$1,22 / 0,0495 = 24,65$ мішків сульфату.

З урахуванням 30-денного запасу необхідно 26649 мішків соди, 739,4 мішків сульфату. При висоті укладки 4 м на одному метрі квадратному можна розмістити 88 мішків. Тоді площа для зберігання матеріалів з урахуванням коефіцієнту корисної площі потрібно стільки площі:

для соди: $1,6 \cdot 26649 / 88 = 484,5 \text{ м}^2$;

для сульфату: $1,6 \cdot 739,4 / 88 = 13,44 \text{ м}^2$.

Загальна площа становить: $279,07 + 145,66 + 82,42 + 342,46 + 484,5 + 13,44 = 1347,55 \text{ м}^2$.

Площа для проїздів та проходів складає приблизно 30 % площі для зберігання матеріалів. Отже, загальна площа складських приміщень для зберігання сировини складає $1751,82 \text{ м}^2$.

2.5.2 Розрахунок бункерів для сировинних матеріалів

Усі підготовлені сировинні матеріали зберігаються у витратних бункерах шихтоскладального цеху із запасом у дві доби. Бункери повинні мати ємність, яка забезпечує безперервне приготування шихти. Їх проектують об'ємом, який враховує вказані запаси матеріалу та можливі аварії та перебої в роботі. Ємність бункерів розраховується за насипною вагою матеріалів. Коефіцієнт заповнення бункерів K_3 складає 0,8. Для зберігання використовують прямокутні бункери з пірамідальною основою.

Бункери залізничні. Висота, довжина і ширина бункера залежить від його об'єму. Розрахунок об'єму бункерів ведеться за формулою:

$$V = \frac{d_{нз}}{\gamma \cdot K_3} \quad (2.8)$$

де V – об'єм бункера, м³;

$d_{нз}$ – нормативний запас, т. (запас матеріалу на 2 доби);

γ – насипна вага матеріалу, т/м³;

K_3 – коефіцієнт заповнення бункера (дорівнює 0,8).

Визначимо об'єм бункера для кожного матеріалу.

Бункер для піску: $101,21 \cdot 2 / (1,7 \cdot 0,8) = 148,83 \text{ м}^3$;

для вапняку: $39,62 \cdot 2 / (1 \cdot 0,8) = 99,05 \text{ м}^3$;

для польового шпату: $22,42 \cdot 2 / (1 \cdot 0,8) = 56,05 \text{ м}^3$;

для соди: $31,98 \cdot 2 / (0,8 \cdot 0,8) = 99,93 \text{ м}^3$;

для сульфату: $1,22 \cdot 2 / (1,1 \cdot 0,8) = 2,77 \text{ м}^3$;

для склобою: $82,19 \cdot 2 / (1,3 \cdot 0,8) = 158,06 \text{ м}^3$;

для шихти: $278,64 \cdot 2 / (1,2 \cdot 0,8) = 580,5 \text{ м}^3$.

2.5.3 Технологічна схема роботи шихтоскладального цеху

Операції по підготовці сировинних матеріалів та приготуванню шихти здійснюються за наведеною на рисунку А.2 схемою.

2.5.4 Приготування сировинних матеріалів

Обробка піску

Обробка піску зводиться до його сушіння та просіювання. Температура сушки піску визначається залежно від його вологості, наявність змерзлих брил і не повинна перевищувати влітку – 360°C, взимку – 500°C. Тиск газу, який подається на пальники сушильного барабана, повинен бути в межах: влітку – 0,3 - 0,4 кг/м², взимку – 0,4 - 0,6 кг/м². Вологість висушеного піску не повинна бути більша 0,5 %, а температура не більше 100°C. Для піску застосовують сита із сіткою № 08. Просіяний пісок подається у силосні банки та бункери з ваговими дозаторами. Запас обробленого піску повинен бути не менш ніж на дві доби. За схемою приготування для піску використовується наступне обладнання:

- мостовий грейферний кран
- бункер
- живильник стрічковий
- сушильний барабан (тип 1600×8000 СМ-45 А, об'єм сушильного простору 16,1 м³)
- елеватор
- сито-бурат (СМ – 236, продуктивність 2 т/год)
- бункер відсиву
- силосна банка

Обробка вапняних порід (вапняк, польовий шпат)

Обробка полягає із наступних операцій: подрібнення – сушка – помел – просіювання. Подрібнення відбувається на щоківній дробарці до величині шматків не більш 60 мм. Сушка відбувається в сушильному барабані. Температура сушки взимку до 200 °С; взимку – 300 °С. Вологість висушеного вапняку, польового шпату не повинна перевищувати 0,5 %, температура відхідних димових газів не більш 80 °С. Подрібнений матеріал подається на сито-бурат з сітками № 09 за допомогою постійних магнітів відбувається магнітна сепарація.

Використовується наступне обладнання:

- мостовий грейферний кран
- бункер
- шокова дробарка (ЩДС– 5, продуктивність 4-10 м³/год)
- елеватор стрічковий
- сушильний барабан (тип 1200×600, об'єм сушильного простору 6,8 м³)
- елеватор
- бігуни (модель 118, продуктивність 1-2,6 т/год)
- конвеєр гвинтовий (КВ – 3226)
- сито-бурат (СМ – 236, продуктивність 2 т/год)
- бункер відсіву
- камерний пневмонасос (К – 2305)
- конвеєр стрічковий
- бункер зберігання

Обробка соди

Сода поступає на завод готовою до використання у мішках. Її необхідно розтарити, просіяти через сітку №1 та подати у витратний бункер. Для цього використовується наступне обладнання:

- стрічковий транспортер
- машина для розтарювання
- пневмотранспорт
- сито-бурат
- бункер для відсівів
- бігуни для відсівів
- пневмотранспорт
- бункер зберігання

Обробка сульфату натрію

Сульфат натрію постачається на завод у мішках. Їх необхідно розтарити, просіяти (натрію сульфат крізь сітку № 1,25) та подати у витратні бункери. Для цього використовується наступне обладнання:

- електрокара
- шафа розтарювання

- пневмотранспорт
- сито-бурат
- бункер для відсівів
- бігуни для відсівів
- пневмотранспорт
- бункер зберігання

Приготування скляного бою

Покупний склобій підлягає обробці, яка пов'язана з наявністю сторонніх домішок (каміння, метал, пластмаси та інші забруднення). Обробка склобою відбувається в спеціально обладнаному приміщенні. Технологічна схема обробки показана на схемі (див. рис. А.3). Обробка склобою полягає в промивці його водою в промивочному барабані, що обертається, та ручному видаленню сторонніх домішок, а також в магнітній сепарації. Зламки, що утворюються на власному виробництві подрібнюються до кусків 20-30 мм і зберігаються у витратних бункерах.

Автоматичні терези використовуються для завантажування компонентів шихти. Автоматичні терези безпосередньо під кожним бункером готового компоненту. Вони мають циферблат, дистанційну автоматичну систему контролю точності зважування і лічильник кількості зважувань.

Обрано автоматичні терези ДВСТ, які забезпечують точність зважування компонентів шихти в межах $\pm 0,8$ %. Для кожного сировинного матеріалу вибираються моделі терезів, які вказані у таблиці 2.13.

Таблиця 2.13 – Моделі терезів та їх технічна характеристика

Найменування матеріалу	Модель терезів	Показники		
		Межа зважування	Цикл зважувань, сек	Вага, кг
Пісок	ДВСТ - 500	400 - 500	120	1200
Польовий шпат	ДВСТ - 150	80 - 150	60	820
Вапняк	ДВСТ - 10	5 - 10	30	420
Сода	ДВСТ - 50	15 - 50	70	445
Сульфат	ДВСТ - 10	5 - 10	30	420
Вугілля	ДВСТ - 5	1 - 5	10	290

Керування терезами електричне. Живильник терезів пневматично – аераційний. Тиск повітря у повітряній сіті – 4 атм.

Конвеєр стрічковий КЛ – 800 – 7

Стрічковий конвеєр призначений для транспортування зважених компонентів до змішувача.

Ковшовий стрічковий елеватор

Використовується для транспортування шихти.

Продуктивність – 48 м³/год;

Ширина стрічки – 450 мм;

Ківш: ширина – 450 мм; ємність – 4,5 л;

Відстань між ковшами – 600 мм;

Швидкість руху ковшової стрічки – 1,61 м/сек.

До подачі у тарілчастий змішувач пісок попередньо зважують у змішувальному шнеці. Необхідно використовувати підігріту воду (50 – 60 °С) і подавати її у змішувач під тиском 0,3 – 0,4 МПа.

2.5.5 Приготування шихти

Для отримання однорідної якісної шихти у проєкті передбачено дотримуватись наступних основних пунктів:

- зволожена шихта (3,5-4,5%) зменшує порошок і запобігає або зменшує розшарування при її зберіганні та транспортуванні;
- достатньо, щоб час змішування був в межах 4-5 хв. Більш однорідну шихту можна отримати в результаті комбінованого (сухого-мокрого) змішування;
- розміри зерен компонентів шихти не повинні значно відрізнятися між собою;
- доцільно завантажувати у змішувач більш дрібнозернисті сировинні матеріали в останню чергу;
- для запобігання розшарування шихти не допускається її падіння з великої висоти, транспортування на конвеєрній стрічці, багаторазове перевалювання. Найбільш доцільно транспортувати шихту у контейнерах.

– з метою тривалого зберігання шихти необхідно ущільнювати шляхом брикетування або грануляції [24].

Шихту високої якості забезпечує змішувач з планетарним приводом марки С-951 (рис 2.1). Він може бути використаний для приготування 1000-2500 кг шихти. Він виконує спочатку сухе змішування, а потім зволожує шихту підігрітою до 70-80 °С водою. Після змішування вологість шихти 3,5-4,5 %, температура 35-40 °С.

Застосування звичайної сипучої шихти створює несприятливі термічні умови для процесу скловаріння. При введенні в зону високих температур (~ 1300 – 1500 °С) шихта нерівномірно нагрівається, в результаті чого верхній шар нагрівається швидко, із нього виплавляється та витікають лужні компоненти, відбувається розшарування шихти. В той же час внутрішні шари шихти залишаються менш прогрітими, їх участь в процесі зсувається у часі.

Для створення кращих умов варіння застосовують гранулювання [24].

Тарілчастий гранулятор являє собою в основному нахильну обертову тарілку з бортами. Продуктивність такого гранулятора залежить від швидкості обертання, кута нахилу, висоти борта та діаметра тарілки. Гранули утворюються при додаванні води, розчинів силікату натрію, гідроксиду кальцію, глини.

Для гранулювання шихти застосовують машини з тарілкою діаметром 850 мм, розташованою під кутом 35 – 55 °; частота обертання 0,15 – 0,6сек-1. Додаток води у шихту складає 10 – 15 %. Початкова міцність гранул складає ~ 0,1, після висушування – 2 МПа.

Продуктивність ванної печі при використанні гранульованої шихти збільшується на 20 – 30 % [24].

Вважається, що збільшення продуктивності є результатом ущільнювання шихти (в 2 рази) і збільшення швидкості реакції в ній.

2.6 Висновки

В технологічній частині підкреслено важливість вибору складу скла та сировинних матеріалів, які визначають експлуатаційні характеристики скляної

тари. Тому було запропоновано склад, який використовується провідними виробниками та підібрано сировинні матеріали для забезпечення його складу, підвищення ефективності та якості процесу варіння скла. Також було обрано родовища сировини для виготовлення скляної тари. Окрему увагу було приділено питанням зменшення викидів CO₂ та економії енергоресурсів за рахунок введення до складу шихти власного та покупного склобою.

Проведено визначення властивостей скла у твердому стані обраного складу розрахунковим способом з застосуванням адитивного методу.

Виконано необхідні розрахунки технологічної суміші для з'ясування потреби у сировинних матеріалах на добу, місяць та рік. Проведені розрахунки площі складських приміщень, бункерів для сировини.

Розроблено технологічну схему підготовки сировинних матеріалів та складання шихти, включаючи подрібнення, просіювання, електромагнітну сепарацію, транспортування та дозування, для забезпечення оптимальних розмірів частинок та однорідності готової шихти. Для зменшення розшарування та покращення умов варіння скла було запропоновано гранулювання шихти у тарілчастому грануляторі.

3 ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1 Загальна характеристика умов здійснення технологічного процесу

Охорона праці є невід’ємною складовою системи управління будь-яким сучасним промисловим підприємством і являє собою комплекс правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних та лікувально-профілактичних заходів і засобів, спрямованих на збереження життя, здоров’я та працездатності працівників у процесі трудової діяльності [27].

Для підприємств скляної промисловості, зокрема шихтоскладальних цехів, питання охорони праці набувають особливої актуальності, оскільки технологічний процес супроводжується утворенням значної кількості пилу, підвищеним рівнем шуму і вібрації, експлуатацією вантажопідіймальних механізмів, транспортних систем, електротехнічного обладнання та інших потенційно небезпечних виробничих факторів.

У дипломному проєкті передбачені заходи, що забезпечують безпечні нешкідливі умови процесу праці. Аналіз небезпечних та шкідливих факторів, що існують в умовах технологічного процесу, приведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Перелік небезпечних виробничих факторів та їх джерела

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори	Нормативно – технічний документ, що регламентує вимоги	Джерела виникнення	Характер дії фактору на організм людини	Нормований показник та його величина
1	2	3	4	5
Підвищена напруга електричного струму (380/400 В)	НПАОП 40.1-1.32-01 [28]; ПУЕ (чинна редакція) [29]; ДСТУ EN 61140:2019 [30]	Дробарки, млини, конвесери, елеватори, сушильний барабан, вібростата, змішувачі, електрощити	Ураження електричним струмом, опіки, фібриляція серця, порушення роботи нервової та дихальної систем	Напруга 380/400 В; захисне заземлення відповідно до ПУЕ
Запиленість повітря робочої зони	ДСН 3.3.6.042-99 [31]; наказ МОЗ №1192 [32]	Розвантаження, дроблення, сушіння, просіювання, дозування, змішування шихти	Подразнення слизових оболонок, силікоз, бронхіти, алергічні реакції	Концентрація пилу не вище ГДК; аспірація та вентиляція

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5
Підвищений рівень шуму	ДСН 3.3.6.037-99 [33]	Дробарки, млини, вентилятори, компресори, конвеєри	Зниження гостроти слуху, втома, порушення діяльності ЦНС	Еквівалентний рівень шуму ≤ 80 дБА
Вібрація	ДСН 3.3.6.039-99 [34]; ДСТУ ISO 2631-1:2004 [35]	Дробарки, млини, вібростата, вентилятори, змішувачі	Порушення роботи нервової, серцево-судинної та опорно-рухової систем, вібраційна хвороба	Нормування за віброприскоренням, віброшвидкістю та рівнями в дБ
Несприятливий мікроклімат	ДСН 3.3.6.042-99 [31]; ДБН В.2.5-67:2013 [36]	Сушильний барабан, повітрянагрівачі	Перегрівання організму, порушення терморегуляції	Температура, вологість і швидкість руху повітря – згідно ДСН
Шкідливі хімічні речовини та пил (кальцинована сода, польовий шпат, сульфат натрію, селен, оксид кобальту, хлорид олова (IV) та інш.)	Наказ МОЗ №1192 [32]; ДСН 3.3.6.042-99 [31]	Приймання, транспортування, дозування і змішування компонентів шихти	Силікоз, подразнення очей, шкіри та органів дихання	Концентрації не вище ГДК (табл. 3.2)

Токсикологічна характеристика речовин та матеріалів, що утворилися в умовах праці, наведена у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Характеристика шкідливих речовин та матеріалів, що застосовуються у шихтоскладальному цеху

Найменування речовини (матеріалу)	Клас небезпеки	ГДК у повітрі робочої зони, мг/м ³	Характер дії на організм людини	Заходи безпеки та перша допомога
1	2	3	4	5
Кварцовий пісок (SiO ₂)	3	0,1–1,0*	Дрібнодисперсний пил подразнює слизові оболонки очей і дихальних шляхів. За тривалого впливу можливий розвиток силікозу та інших пневмоконіозів.	Місцева аспірація, респіратор FFP3, захисні окуляри, спецодяг, використання вентиляції. При потрапленні пилу в очі – промити водою.

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4	5
Польовий шпат	3	2	Пил подразнює органи дихання, може викликати хронічні захворювання – силікоз, алюмоз.	Респіратор FFP2, окуляри, спецодяг, використання вентиляції.
Вапняк (CaCO ₃)	4	6	Подразнює легені, верхні дихальні шляхи, очі та шкіру.	Респіратор FFP2, захисні окуляри, рукавички, використання вентиляції.
Сульфат натрію	3	5	Подразнює слизові оболонки очей, носоглотки та шкіри.	ЗІЗ органів дихання, окуляри, рукавички, використання вентиляції.
Сода кальцинована (Na ₂ CO ₃)	3	2	Подразнює очі, шкіру та дихальні шляхи.	Респіратор FFP2, окуляри, гумові рукавички.
Селен та його сполуки	2	0,1	Подразнюють органи дихання, очі та шкіру; при хронічному впливі уражають печінку, нирки та нервову систему.	Респіратор FFP3, окуляри, рукавички, спецодяг.
Оксид кобальту	2	0,5	Подразнює органи дихання та шкіру, може викликати алергічні реакції.	Респіратор FFP3, окуляри, рукавички.
Тетрахлорид олова (SnCl ₄)	3	2	Пари викликають сильне подразнення слизових оболонок, шкіри та очей.	ЗІЗ органів дихання, окуляри, рукавички, використання місцевої вентиляції.

* Для кристалічного діоксиду кремнію значення ГДК уточнюються залежно від вмісту вільного SiO₂ та дисперсності пилу відповідно до чинних гігієнічних нормативів МОЗ України.

У шихтоскладальному цеху виробництва полегшеної скляної тари основними матеріалами є кварцовий пісок, доломіт, вапняк, польовий шпат, сода кальцинована, сульфат натрію, склобій та барвні добавки. Зазначені матеріали є негорючими неорганічними речовинами і не здатні до самостійного займання. Горючі речовини та легкозаймисті матеріали у технологічному процесі не використовуються.

Разом з тим у процесі транспортування, дроблення, просіювання, дозування та змішування компонентів шихти утворюється значна кількість

пилу. Хоча пил кварцового піску, польового шпату, вапняку та інших компонентів шихти не є горючим, його підвищена концентрація негативно впливає на умови праці персоналу, тому у виробничих приміщеннях передбачаються аспіраційні установки, місцева витяжна вентиляція та системи очищення повітря.

Відповідно до ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» [37] приміщення шихтоскладального цеху належить до категорії Д за пожежною небезпекою, оскільки в технологічному процесі застосовуються негорючі речовини та матеріали у холодному стані.

Згідно з вимогами Правил улаштування електроустановок (ПУЕ) [29] та НПАОП 40.1-1.32-01 [28], приміщення шихтоскладального цеху належить до приміщень з підвищеною небезпекою ураження електричним струмом, оскільки існує можливість одночасного дотику працівника до заземлених металевих конструкцій будівлі, технологічного обладнання та металевих корпусів електроустановок. Крім того, підвищена запиленість повітря сприяє зниженню опору ізоляції електрообладнання, що вимагає застосування захисного заземлення, автоматичного відключення живлення та періодичного контролю стану ізоляції.

Відповідно до вимог ДСП № 173-96 [38], ширина санітарно-захисної зони становить 100 м.

3.2 Промислова санітарія

Промислова санітарія в шихтоскладальному цеху спрямована на забезпечення безпечних та комфортних умов праці шляхом підтримання нормованих параметрів мікроклімату, освітлення, чистоти повітря робочої зони, а також обмеження впливу виробничого пилу, шуму та вібрації.

Параметри мікроклімату приймаються відповідно до вимог ДСН 3.3.6.042-99 [31] з врахуванням категорії робіт за енерговитратами при виконанні технологічних операцій і періоду року. За рівнем енерговитрат роботи персоналу належать до категорії Пб (роботи середньої важкості).

Дані наведені у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Допустимі та оптимальні параметри мікроклімату виробничих приміщень

Період року	Категорія робіт	Оптимальна температура, °С	Допустима температура, °С	Оптимальна відносна вологість, %	Допустима відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодний	Пб	17–19	15–21	40–60	75	0,4
Теплий	Пб	20–22	18–27	40–60	65	0,2–0,5

Для забезпечення нормалізації параметрів мікроклімату цеху передбачаються такі заходи:

- згідно з ДБН В.2.5-67:2013 [36] застосування припливно-витяжна механічна вентиляції та опалювання в холодний період року;
- герметизація дробарок, млинів, змішувачів і транспортного обладнання;
- автоматизація технологічних процесів; дистанційне керування обладнанням.

Проектування освітлення здійснюється відповідно до ДБН В.2.5-28:2018 [39] та ДСТУ EN 12464-1:2016 [40]. Використовується комбіноване природне і штучне освітлення із застосуванням світлодіодних промислових світильників.

Характеристика виробничого освітлення приведена у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Характеристика виробничого освітлення

Характеристика зорових робіт	Розряд та підрозряд зорової роботи	КПО, %	Освітленість, лк	Джерело світла
Середньої точності	IVГ	1,5	300–500	Світлодіодні промислові світильники LED (IP65)

Розрахунок коефіцієнта природної освітленості:

$$e_N = e_H \cdot m_N, \quad (3.1)$$

де e_H – базове значення КПО для IV розряду зорової роботи ($e_H = 1,5$ %);

m – коефіцієнт світлового клімату, дорівнює 0,9;

e_N – нормове значення КПО в залежності від розряду зорових робіт, виду освітлення;

N – номер групи забезпеченості природним світлом:

$$e_2 = 1.5 \cdot 0.9 = 1.35 \%$$

Для комбінованого освітлення: $e_2 = 4 \cdot 0.9 = 3.6 \%$.

3.3 Пожежна безпека

Пожежна безпека шихтоскладального цеху є важливим елементом системи охорони праці, оскільки виникнення пожежі може призвести до травмування працівників, виходу з ладу дорогого технологічного обладнання, припинення виробничого процесу та значних матеріальних збитків.

Організація пожежної безпеки в цеху здійснюється, відповідно до ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту» [41] та ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» [42], системами протипожежного захисту, попередження пожежі й організаційно-технічними заходами.

Для попередження виникнення пожеж у цеху передбачаються такі заходи:

- використання негорючих будівельних конструкцій;
- застосування кабельної продукції з пониженою пожежною небезпекою;
- обладнання електроустановок автоматичними вимикачами захисту та пристроями захисного вимкнення;
- систематичне очищення технологічного обладнання від пилу;
- заземлення всього технологічного обладнання для запобігання накопиченню статичної електрики;
- ізоляція горючих речовин;
- обмеження кількості горючих речовин
- проведення інструктажів та навчання персоналу з питань пожежної безпеки.

Заходи систем протипожежного захисту – застосування первинних засобів пожежогасіння: порошкових вогнегасників ВП-9 (9 кг) – для ліквідації

пожеж класів А, В, С та електроустановок під напругою до 1000 В; вуглекислотних вогнегасників ВВК-5 – для гасіння електрообладнання; пожежних щитів, укомплектованих ломом, багром, сокирою, відрами конічної форми, лопатами та покривалом для ізоляції осередків займання; ящиків із сухим піском місткістю не менше 0,5 м³.

Також передбачено використання внутрішнього та зовнішнього пожежного водопроводу; автоматичної системи пожежної сигналізації; системи оповіщення людей про пожежу; евакуаційного освітлення; покажчиків напрямків евакуації; аварійного відключення електроживлення технологічного обладнання.

Для виробничих приміщень передбачаються не менше двох евакуаційних виходів, ширина проходів між обладнанням приймається відповідно до вимог ДБН В.1.1-7:2016, а двері на шляхах евакуації повинні відкриватися у напрямку виходу людей із будівлі.

Припинення процесу горіння здійснюється одним або кількома способами: охолодженням осередку пожежі; ізоляцією горючої речовини від окисника; хімічним інгібуванням реакції горіння порошковими вогнегасними речовинами.

Реалізація зазначених організаційних і технічних заходів дозволяють забезпечити необхідний рівень пожежної безпеки шихтоскладального цеху та сприяє створенню безпечних умов праці для персоналу.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Економічне обґрунтування проєкту шихтоскладального цеху виробництва полегшеної скляної тари спрямоване на визначення економічної доцільності впровадження запропонованих технічних рішень та оцінку ефективності функціонування виробництва.

Основними напрямками розвитку сучасних склотарних підприємств є підвищення продуктивності праці, зменшення матеріало- та енергоємності виробництва, автоматизація технологічних процесів, впровадження високопродуктивного обладнання та раціональне використання сировинних і паливно-енергетичних ресурсів. Особливого значення набуває виробництво полегшеної скляної тари, яке забезпечує скорочення витрат сировини, зниження енерговитрат під час варіння скла та зменшення транспортних витрат.

В економічній частині кваліфікаційного проєкту виконуються розрахунки вартості сировинних матеріалів, допоміжних матеріалів, енергоносіїв, основного технологічного обладнання, фонду оплати праці персоналу, амортизаційних відрахувань, виробничої собівартості продукції та основних техніко-економічних показників роботи цеху.

4.1 Розрахунок виробничої потужності проєктованого шихтоскладального цеху

Виробнича програма цеху розраховується по ведучому устаткуванню, відповідно до формули:

$$G = A \cdot П \cdot \Phi_{\text{эф}}, \quad (4.1)$$

де G – програма цеху, т/рік;

A – кількість однотипного ведучого устаткування, шт.;

$П$ – найбільша потужність одиниці ведучого устаткування, т/год;

$\Phi_{\text{эф}}$ – ефективний фонд часу роботи одиниці ведучого устаткування, год/рік.

Проектований цех працює у безперервному режимі три зміни на добу по 8 годин. Ефективний фонд часу роботи обладнання визначається з урахуванням планових ремонтів та технологічних зупинок за формулою

$$\Phi_{\text{эф}} = Д \cdot С \cdot r \cdot ДО_1 \cdot ДО_2 - Р \cdot С \cdot r = 365 \cdot 3 \cdot 8 \cdot 0,99 \cdot 0,98 - 0 \cdot 8 \cdot 3 = 8497 \text{ год/рік}, \quad (4.2)$$

де $Д$ – кількість робочих днів у році;

$С$ – кількість змін у добу;

r – тривалість зміни, година;

$ДО_1$ – коефіцієнт зупинки на ремонт устаткування;

$ДО_2$ – коефіцієнт на переустаткування (переоснащення);

$Р$ – кількість днів ремонту.

$$G = 1 \cdot 12,18 \cdot 8497 = 101964 \text{ т/рік}$$

4.2 Розрахунок вартості та потреби сировини і матеріалів

Розрахунок потреби в матеріальних ресурсах на виробничу програму цеху визначають по кожному виду матеріалу і розраховують відповідно до формули:

$$P_i = H_i \cdot G, \quad (4.3)$$

де H – норма використання сировини та матеріалу на продукт, т/т;

G – вироблення продукту відповідно до проекту, т/рік;

Потреба в сировині й матеріалах, для даного виробництва представлена в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Потреба в сировині та матеріалах

Сировина	Питомі норми витрат, т/т	Об'єм виробництва, т	Річна потреба, т
Пісок	0,363	100000	36300
Вапняк	0,142		14200
Польовий шпат	0,0804		8040
Сода	0,115		11500
Натрію сульфат	0,0042		420
Вугілля	0,0004		40
Склобій	0,295		29500
Всього	1		100000

Розрахунок вартості сировини та матеріалів представлений у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Вартість сировини та матеріалів

Матеріал	Ціна, грн	Витрата, т		Вартість, грн	
		На 1т продукту	На річну програму	На 1т продукту	На річну програму
Пісок	1800	0,363	36300	653,4	65340000
Вапняк	1400	0,142	14200	198,80	19880000
Польовий шпат	4800	0,0804	8040	385,92	38592000
Сода	16500	0,115	11500	1897,5,00	189750000
Натрію сульфат	8500	0,0042	420	35,70	3570000
Вугілля	9000	0,0004	40	3,60	360000
Склобій	3200	0,295	29500	944,00	94400000
Всього:				4118,92	411892000

За результатами розрахунків сумарні витрати на придбання основної сировини для забезпечення річної виробничої програми цеху становлять 411,89 млн грн, що відповідає приблизно 4118,9 грн на 1 т шихти.

4.3 Визначення витрат та вартості енергоресурсів

Витрати на енергоресурси складаються із витрат електроенергії на роботу технологічного обладнання та витрат технічної води, яка використовується для зволоження шихти, гранулювання, пилопригнічення та господарсько-виробничих потреб. Природний газ у даному розділі не враховується, оскільки він використовується безпосередньо у скловарній печі, що не входить до складу проєктованого шихтоскладального цеху.

Річне споживання електроенергії визначають за встановленою потужністю обладнання та ефективним фондом часу його роботи

$$W=P \cdot t \cdot n, \quad (4.4)$$

де P – потужність електродвигуна, кВт;

t – річний фонд часу роботи обладнання, год;

n – кількість одиниць обладнання.

Сумарна встановлена потужність обладнання цеху становить 295,23 кВт, а річне споживання електроенергії – 1 976 822 кВт·год.

При економічних розрахунках прийнято середній тариф на електроенергію для промислових підприємств – 7,50 грн/кВт·год. Вартість технічної води складає 65 грн/м³.

Розрахунок потреби в енергоресурсах та воді для даного дипломного проєкту представлений в таблиці 4.3, розрахунок потреби в електроенергії представлений у таблиці 4.4.

Таблиця 4.3 – Розрахунок потреби в енергоресурсах

Вид енергії	Одиниця вимірювання	Тариф, грн	Витрати		Сума тис, грн	
			На рік	На 1 т	На рік	На 1 т
Електроенергія	кВт·год	7,50	1976822	19,77	14826165	148,26
Вода	м ³	65,00	19272	0,193	1252680	12,53
Всього					16078845	160,79

Таблиця 4.4 – Розрахунок потреби в електроенергії

Обладнання	Кількість обладнання, шт	Потужність обладнання, кВт/год	Кількість годин роботи, т	Необхідна потужність, кВт/год
Сушильний барабан	3	10	8210	246300
Аеробільний млин	1	50	7004	350200
Молоткова дробарка	2	14	7004	196112
Дезінтегратор	1	10	7004	70040
Щокова дробарка	1	28	7500	210000
Валково-зубчаста дробарка	1	11,5	7004	80546
Елеватор	8	20	6900	159300
Електромагнітний сепаратор	1	1,53	8000	12240
Сито-бурат	7	1,7	6900	11730
Лотковий живильник	4	2,8	7006	19616,8
Пластинчастий живильник	2	12	7965	191160
Грейферний кран	1	24	2640	63360
Гранулятор	1	10	7965	79650
Тарілчастий змішувач	1	30	7965	238950
Всього		295,23		1976822

4.4 Розрахунок амортизаційних відрахувань

Початкова вартість основного технологічного устаткування приведена в таблиці 4.5, а додаткові капітальні витрати – у таблиці 4.6.

Балансова вартість обладнання:

$$B_{\text{осн}} = 34230000 + 8557500 = 42787500 \text{ грн.}$$

Для обладнання шихтоскладального цеху нормативний строк корисного використання приймається 10 років, що відповідає річній нормі амортизації 10 %.

Річна сума амортизації визначається:

$$A = (B_{\text{осн}} \cdot N_a) / 100,$$

де $B_{\text{осн}}$ – балансова вартість обладнання, грн;

N_a – річна норма амортизації, %.

$$A = (42787500 \cdot 10) / 100 = 4278750 \text{ грн/рік.}$$

Питомі амортизаційні відрахування: $A_{\text{пит}} = 4278750/100000 = 42,79$ грн/т.

Таблиця 4.5 – Вартість устаткування

Устаткування	Кількість одиниць	Ціна одиниці устаткування, грн	Ціна всього устаткування, грн
Сушильний барабан	3	2800000	8400000
Аеробільний млин	1	3500000	3500000
Молоткова дробарка	2	1250000	2500000
Дезінтегратор	1	1600000	1600000
Щокова дробарка	1	2300000	2300000
Валково-зубчаста дробарка	1	1750000	1750000
Елеватор	8	220000	1760000
Електромагнітний сепаратор	1	420000	420000
Сито-бурат	7	280000	1960000
Лотковий живильник	4	190000	760000
Пластинчастий живильник	2	450000	900000
Грейферний кран	1	3200000	3200000
Гранулятор	1	850000	850000
Тарілчастий змішувач	1	1600000	1600000
Всього			34230000

Таблиця 4.6 – Додаткові капітальні витрати

Стаття	% від вартості обладнання	Сума, грн
Монтаж	15	5134500
Транспортування	5	1711500
Пусконаладжувальні роботи	5	1711500
Разом		8557500

4.5 Розрахунок витрат на оплату праці

Річний фонд оплати праці формується із фонду основної та додаткової заробітної плати. Для визначення чисельності персоналу виконують розрахунок балансу робочого часу одного працівника (табл. 4.7) та облікової чисельності з урахуванням коефіцієнта переходу від явочної до облікової чисельності. Розрахунок чисельності робітників приведений у таблиці 4.8.

Таблиця 3.7 – Баланс робочого часу одного робочого

Показники	Робочі	
	основні	Допоміжні
Календарний фонд часу, дні	365	365
Неробочі дні, всього в тому числі:		
- свята	11	11
- вихідні;	104	104
номінальний фонд робочого часу	256	256
невиходи на роботу, дні:		
- основні та додаткові відпуски;	10	15
- відпустка учням;	10	8
- відпустка по вагітності й пологам;	2	2
- по хворобі;	3	5
- виконання державних обов'язків;	1	
корисний фонд робочого часу, дні;	230	226
середня тривалість робочого дня, год;	8	8
корисний фонд робочого часу в рік, год;	1840	1808
коефіцієнт переходу	1,48	1,51

Таблиця 4.8 – Розрахунок чисельності робітників

Назва професії	Чисельність робітників у змін	Кількість змін за добу	Явочна чисельність	Коефіцієнт облікового складу	Облікова чисельність робочих
1	2	3	4	5	6
Основні робочі Оператор приготування шихти	2	3	6	1,42	9
Машиніст дробарки	2	3	6	1,42	9
Машиніст млина	1	3	3	1,42	5
Оператор змішувача	1	3	3	1,42	5
Оператор сушильного барабана	1	3	3	1,42	5
Машиніст транспортерів	2	3	6	1,42	9

Продовження таблиці 4.8

1	2	3	4	5	6
Усього	9		27		42
Допоміжні робочі Слюсар-ремонтник			4		4
Електромонтер			3		3
Електрогазоварник			2		2
Водій навантажувача			3		3
Комірник			2		2
Прибиральник виробничих приміщень			2		2
Усього			16		16
Разом					58

4.6 Розрахунок річного фонду оплати праці керівників, спеціалістів, службовців і МОП

Річний фонд оплати праці керівників, спеціалістів, службовців та молодшого обслуговуючого персоналу визначається на підставі штатного розпису підприємства . Посадові оклади прийняті відповідно до середнього рівня оплати праці працівників підприємств скляної промисловості України.

Основний фонд заробітної плати визначають за формулою (табл. 4.9):

$$\Phi_{\text{осн}} = Ч \cdot О \cdot 12 \quad (4.5)$$

де Ч – чисельність працівників;
О – посадовий оклад, грн/міс.;
12 – кількість місяців у році.

Додаткову заробітну плату прийнято у розмірі 20 % від основної заробітної плати.

Річний фонд оплати праці: $\Phi_{\text{річ}} = \Phi_{\text{осн}} + \Phi_{\text{дод.}}$

Таблиця 4.9 – Розрахунок основного фонду оплати праці керівників, спеціалістів, службовців та МОП

Категорія	Кількість, осіб	Середній оклад, грн/міс.	Основний фонд, грн
Основні робітники	42	28000	14112000
Допоміжні робітники	16	27000	5184000
Разом	58		19296000

$$\Phi_{\text{дод.}} = 0,2 \cdot 19296000 = 3859200 \text{ грн.}$$

$$\Phi_{\text{річ}} = 19296000 + 3859200 = 23155200 \text{ грн.}$$

Єдиний соціальний внесок (ЄСВ) визначають відповідно до чинного законодавства України за ставкою 22 %:

$$\text{ЄСВ} = 23155200 \cdot 0,22 = 5094144 \text{ грн.}$$

Загальні витрати на оплату праці $23155200 + 5094144 = 28249344$ грн.

4.7 Розрахунок витрат по утриманню та експлуатації устаткування

Витрати на утримання та експлуатацію устаткування включають оплату праці допоміжного персоналу, нарахування на заробітну плату, витрати на технічне обслуговування і ремонт обладнання, амортизаційні відрахування та інші експлуатаційні витрати. Для розрахунків використано вартість технологічного обладнання, визначену раніше (табл. 4.10).

Основна зарплата допоміжних робітників: $\Phi_{\text{осн}} = 5184000$ грн.

$$\Phi_{\text{дод.}} = 1036800 \text{ грн.}$$

$$\Phi_{\text{річ}} = 5184000 + 1036800 = 6220800 \text{ грн.}$$

$$\text{ЄСВ} = 6220800 \cdot 0,22 = 1368576 \text{ грн.}$$

Таблиця 4.10 – Розрахунок витрат по утриманню і експлуатації устаткування

Найменування статей	Величина витрат, грн	Примітка
Витрати на оплату праці допоміжних робітників	6220800	Основна заробітна плата
ЄСВ (22 % від фонду оплати праці)	1368576	Відрахування на соціальне страхування
Витрати на технічне обслуговування	2139375	5 % вартості обладнання
Поточний ремонт обладнання	1283625	3 % вартості обладнання
Амортизація обладнання	4278750	За результатами розрахунку
Інші виробничі витрати	855750	2 % від вартості обладнання
Разом	16146876	

Питомі витрати на утримання обладнання становлять:

$$16146876/100000 = 161,47 \text{ грн/т.}$$

4.8 Розрахунок загально виробничих витрат

До загальновиробничих витрат відносять витрати, пов'язані з управлінням шихтоскладальним цехом, утриманням будівель і споруд, охороною праці, амортизацією, поточними ремонтами та іншими витратами, необхідними для забезпечення безперервної роботи виробництва.

Загальноробочі витрати розраховуються по формі таблиці і приведені в таблиці 4.11.

Таблиця 4.11 – Розрахунок загальновиробничих витрат

Найменування статей	Величина витрат, грн	Примітка
Основна заробітна плата керівників, спеціалістів та службовців	7080000	
ЄСВ (22 % від фонду оплати праці)	1557600	22 %
Поточний ремонт будівель і споруд	449269	Орієнтовно 3 % вартості будівель
Утримання будівель і споруд	599025	4 % вартості будівель
Витрати на охорону праці	247536	1 % фонду оплати праці
Амортизація будівель і споруд	748781	5 % вартості будівель
Інші загальновиробничі витрати	534111	Близько 5 % врахованих витрат
Разом	11216322	

4.9 Калькуляція собівартості продукту

Калькуляція собівартості є завершальним етапом економічних розрахунків і виконується на основі визначених раніше матеріальних витрат, витрат на енергоресурси, оплату праці, амортизацію обладнання, витрат на його утримання та загальновиробничих витрат. Собівартість визначається як сума всіх поточних витрат, необхідних для виготовлення продукції, і приведена у таблиці 4.12.

Таблиця 4.12 – Калькуляція собівартості шихти

Стаття витрат	На 1 т, грн	На річний випуск, грн
Сировинні матеріали	4118,92	411892000
Електроенергія	148,26	14826165
Вода	12,53	1252680
Разом енергоресурси	160,79	16078845
Оплата праці	231,55	23155200
ЄСВ (22 %)	50,94	5094144
Утримання та експлуатація обладнання	161,47	16146876
Загальновиробничі витрати	112,16	11216322
Виробнича собівартість	78,44	7843963,2
Адміністративні та інші операційні витрати	65,67	6566599
Повна собівартість	5140,73	514073000

Отже, найбільшу частку собівартості становлять матеріальні витрати (понад 95 %). Основними складовими є сода кальцинована, кварцовий пісок і склобій. Використання склобою та оптимізованого складу шихти забезпечує зниження енерговитрат і підвищує економічну ефективність виробництва полегшеної скляної тари.

ВИСНОВКИ

В даній роботі був виконаний проєкт шихтоскладального цеху виробництва полегшеної скляної тари продуктивністю 100000 тонн шихти на рік.

Аналіз науково-технічної літератури, нормативних документів і сучасних публікацій вітчизняних та закордонних дослідників свідчить про важливість виробництва скляної тари завдяки хімічній інертності, екологічній безпечності, можливості її багаторазового використання та необмеженій кількості циклів перероблення без втрати експлуатаційних властивостей.

Розглянуті переваги виробництва полегшеної скляної тари методом вузькогорлого пресовидування.

Наведено асортимент скляної тари та вимоги до неї, які стосуються геометричних параметрів виробів, механічної міцності, термічної та хімічної стійкості, безпечності контакту скла з харчовими продуктами, а також методів контролю якості готової продукції.

Встановлено, що вирішальний вплив на процес варіння скла та якість готової продукції мають властивості сировинних матеріалів, хімічний склад скла і технологічні характеристики шихти.

Продемонстровано, що застосування гранулювання, брикетування, оптимізації гранулометричного складу та широкого використання підготовленого склобою дозволяє інтенсифікувати процес скловаріння

Обрано хімічний склад скла та сировинні матеріали для забезпечення цього складу, підвищення ефективності та якості процесу варіння.

Розраховані властивості скла у твердому стані, шихта, площі складських приміщень та об'єм бункерів для сировини.

Для інтенсифікації процесу скловаріння у шихту вводиться склобій у кількості 30 % та здійснюється грануляція шихти за допомогою тарілчастого гранулятора.

З метою створення безпечних умов праці для персоналу та необхідного рівня пожежної безпеки шихтоскладального цеху передбачені організаційні та

технічні заходи.

Виконані економічні розрахунки матеріальних витрат, витрат на енергоресурси, оплату праці, амортизацію обладнання, витрат на його утримання й загальновиробничих витрат дозволили встановити собівартість шихти.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Emblem A., Emblem H. Packaging Technology: Fundamentals, Materials and Processes. Cambridge : Woodhead Publishing, 2012. 640 p. URL: sciencedirect.com (дата звернення: 10.06.2026).
2. Луців А. Аналіз сучасного стану підприємств таропакувальної галузі в Україні та виклики ринку. Економіка та суспільство. 2023. № 58. URL: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/3303> (дата звернення: 10.06.2026).
3. Інноваційні технології у виробництві спеціального та побутового скла / М. М. Племянніков, А. П. Яценко, І. В. Пилипенко, Б. Ю. Корнілович ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 298 с. URL: <https://htks.kpi.ua/files/Books/Glass.pdf> (дата звернення: 10.06.2026).
4. Glass Container Market Size, Share & Trend Report, 2024–2032. Grand View Research, 2023. 120 p. URL: <https://www.gminsights.com/industry-analysis/glass-container-market> (date of access: 10.06.2026).
5. FEVE. Annual Report 2024: Executive Summary and Abstract. Brussels: FEVE, 2025. 12 p. URL: <https://feve.org/wp-content/uploads/2025/10/ABSTRACT-FEVE-2024-Final.pdf> (date of access: 10.06.2026).
6. Gaines L. L., Mintz M. M. Energy Implications of Glass-Container Recycling. Argonne, IL: Argonne National Laboratory; Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory, 1994. 68 p. (ANL/CNSV-TM-58; NREL/TP-430-5703). URL: <https://docs.nlr.gov/docs/legosti/old/5703.pdf> (date of access: 10.06.2026).
7. Vetropack Holding AG. Скло залишається склом: Рецикл – це екологічно та економічно. Київ: Ветропак Гостомель, 2012. 8 с. URL: https://www.vetropack.com/fileadmin/doc/01_publications/02_Vetrotime_Customer_Magazine/Ukrainian/Recycling_UA.pdf (дата звернення: 10.06.2026).
8. PJSC "Kostopil Glassworks". Official site. Kostopil, Ukraine. URL: <https://www.arr-rivneregion.com/EN/info-kastopil-en.php> (дата звернення: 10.06.2026).

9. ПрАТ «Ветропак Гостомельський Склозавод». Офіційний сайт. Гостомель, Україна. URL: <https://www.vetropack.com/uk/> (дата звернення: 10.06.2026).
10. ТОВ «Малинівський склозавод». Офіційний сайт. Малинівка, Україна. URL: <https://malglass.com/> (дата звернення: 10.06.2026).
11. HEYE International. Newsletter 01 2023: NNPB technology for lightweight glass containers. Germany: HEYE, 2023. 4 p. URL: <https://www.heye-international.com/newsletter/newsletter-01-2023> (date of access: 11.06.2026).
12. Tooling requirements for glass container production for the narrow neck and blow process. Journal of Materials Processing Technology. 2003. Vol. 138, Issues 1–3. P. 214–220. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924013603002140> (date of access: 11.06.2026).
13. A comparison of the performance of lightweight glass containers manufactured by the P&B and B&B processes / S. B. M. Jaime et al. Packaging Technology and Science. 2002. Vol. 15, iss. 5. P. 225–230. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/pts.580> (date of access: 11.06.2026).
14. New trends in beverage packaging systems: a review. Journal of Food Science and Technology. 2020. Vol. 57, No 5. P. 1601–1614. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/74ef/0f4333a1fad90592e4dd9116e49d82e1da58.pdf> (date of access: 12.06.2026).
15. Воронов Г. К. Технології виробництва скломатеріалів : конспект лекцій / Г. К. Воронов ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. 128 с. URL: <https://eprints.kname.edu.ua/55745/1/2020%20%D0%BF%D0%B5%D1%87.56%D0%9B.pdf> (дата звернення: 12.06.2026).
16. USP–NF. General Chapter <660> : Containers–Glass. Rockville, MD: United States Pharmacopeial Convention, 2023. URL: https://doi.usp.org/USPNF/USPNF_M1757_02_01.html (date of access: 12.06.2026).
17. ДСТУ EN ISO 12775:2022. Скляна тара. Номінальна місткість. Допуски. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022.

18. ISO 12821:2020. Glass packaging – 26 Н 126 crown finish – Dimensions : int. standard. [Effective from 2020-01-01]. URL: <https://www.iso.org/obp> (date of access: 12.06.2026).

19. Технологія скла : підручник : у 3 ч. Ч. 3 : Технологія скляних виробів / Й. М. Ящишин, Я. І. Вахула, Т. Б. Жеплинський, О. Д. Козій. Львів : Растр-7, 2011. 416 с.

20. ДСТУ EN 1183:2017. Матеріали та вироби, що контактують з харчовими продуктами. Методи випробування на термостійкість і термічний удар скляної тари. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017.

21. Довідковий документ з найкращих доступних технологій та методів управління (НДТМ) для виробництва скла / М-во захисту довкілля та природних ресурсів України. Оновл. ред. 2024. URL: https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2024/08/v2GLS_Adopted_03_2012_0_UK_onovleno-22.08.24.pdf (дата звернення: 12.06.2026).

22. FEVE. Annual Report 2023: The European Glass Container Federation. Brussels: FEVE, 2024. 45 p. URL: <https://feve.org/wp-content/uploads/2025/10/ABSTRACT-FEVE-2024-Final.pdf> (date of access: 12.06.2026).

23. Verallia : офіційний вебсайт компанії. URL: <https://ua.verallia.com> (дата звернення: 12.06.2026).

24. Ящишин Й. М. Технологія скла : підруч. для студ. ВНЗ. У 3-х част. Ч. 2 / Й. М. Ящишин [та ін.] ; ред. Й. М. Ящишин. – Львів : Вид-во «Бескид Біт», 2004. – 250 с.

25. Ящишин Й. М. Технологія скла : підруч. для студ. ВНЗ. У 3-х част. Ч. 1 : Основи теорії скла і сировина / Й. М. Ящишин [та ін.] ; ред. Й. М. Ящишин. — Львів : Вид-во «Бескид Біт», 2004. — 280 с.

26. Матвеев М. А., Матвеев Г. М., Френкель Б. Н. Расчеты по химии и технологии стекла: Справочное пособие. — М.: Изд-во литературы по строительству, 1972. — 240 с.

27. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 № 2694-XII (зі змінами та доповненнями станом на 2026 р.). URL:

<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12> (дата звернення: 16.06.2026).

28. НПАОП 40.1-1.32-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. Київ : Міністерство праці та соціальної політики України, 2001.

29. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). 4-те вид., перероб. і допов. Харків : Форт, 2017. 760 с.

30. ДСТУ EN 61140:2019. Захист проти ураження електричним струмом. Загальні аспекти щодо установки та обладнання (EN 61140:2016, IDT; IEC 61140:2016, IDT). Київ : УкрНДНЦ, 2021.

31. ДСН 3.3.6.042-99. Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Київ : МОЗ України, 1999. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/va042282-99> (дата звернення: 16.06.2026).

32. Про затвердження державних медико-санітарних нормативів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин у повітрі робочої зони : наказ МОЗ України від 09 лип. 2024 р. № 1192 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z1107-24> (дата звернення: 16.06.2026).

33. ДСН 3.3.6.037-99. Державні санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Київ : МОЗ України, 1999. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/va037282-99> (дата звернення: 16.06.2026).

34. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої вібрації. Київ : МОЗ України, 1999. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/va039282-99> (дата звернення: 16.06.2026).

35. ДСТУ ISO 2631-1:2004. Вібрація та удар. Оцінювання впливу загальної вібрації на людину. Частина 1. Загальні вимоги (ISO 2631-1:1997, IDT) : нац. стандарт України. [Чинний від 2005-07-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2005. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. Київ : Мінрегіон України, 2013. 149 с.

36. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування : держ. будівельні норми України. [Чинний від 2014-01-01]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/v0024858-13> (дата звернення: 16.06.2026).

37. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. Київ : Мінрегіон України, 2017. 39 с.
38. Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів : ДСП № 173-96. Затв. наказом Міністерства охорони здоров'я України від 19.06.1996 № 173. Київ, 1996.
39. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. Київ : Мінрегіон України, 2018. 133 с.
40. ДСТУ EN 12464-1:2016. Світло та освітлення. Освітлення робочих місць. Робочі місця у приміщеннях. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 76 с.
41. ДБН В.2.5-56:2014. Системи протипожежного захисту. Київ : Мінрегіон України, 2015. 127 с.
42. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. Київ : Мінрегіон України, 2017. 41 с.

ДОДАТОК А

КРЕСЛЕННЯ



Рисунок А.1 – План шихтоскладального цеху

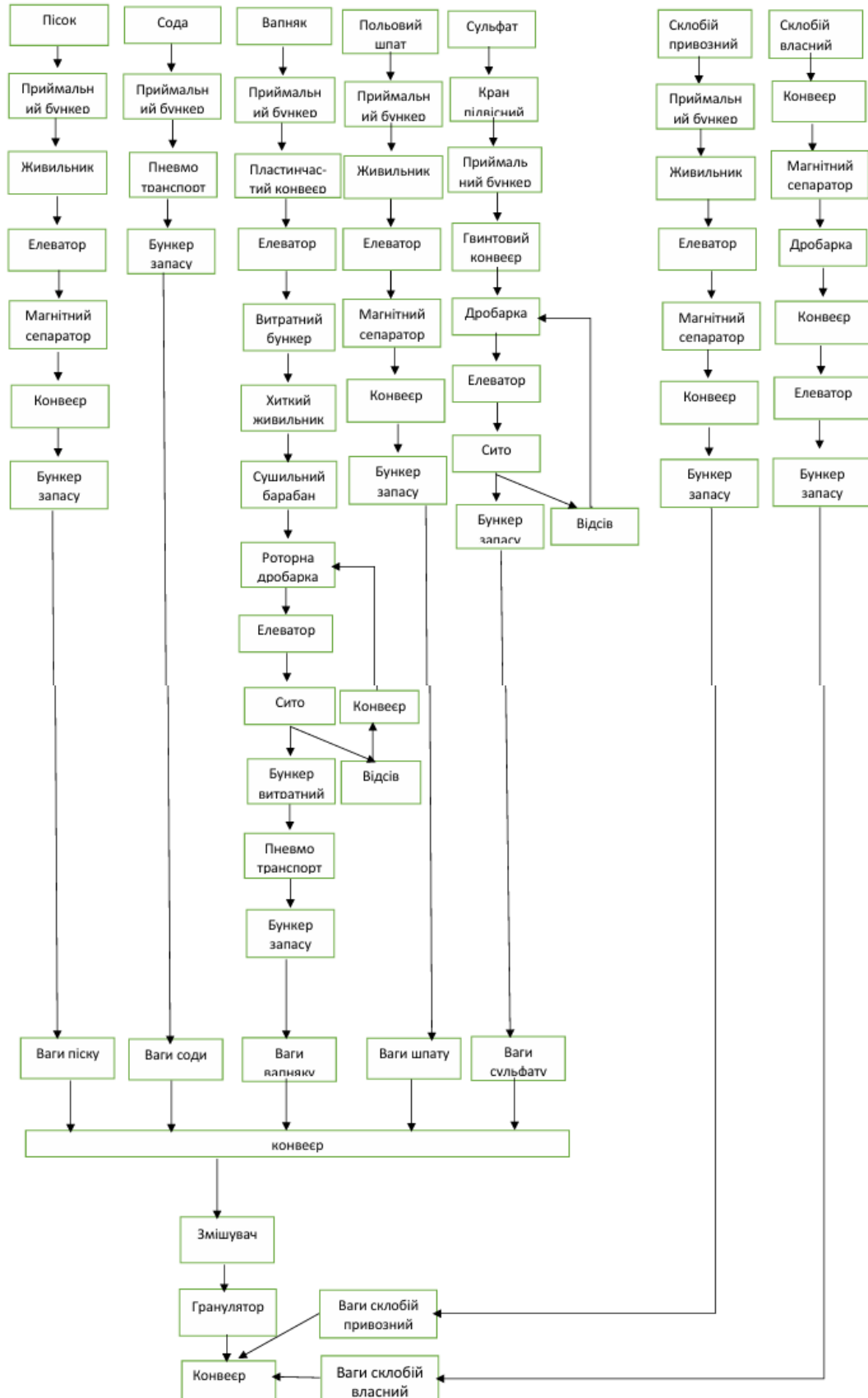


Рисунок А.2 – Технологічна схема шихтоскладального цеха виробництва полегшеної скляної тари

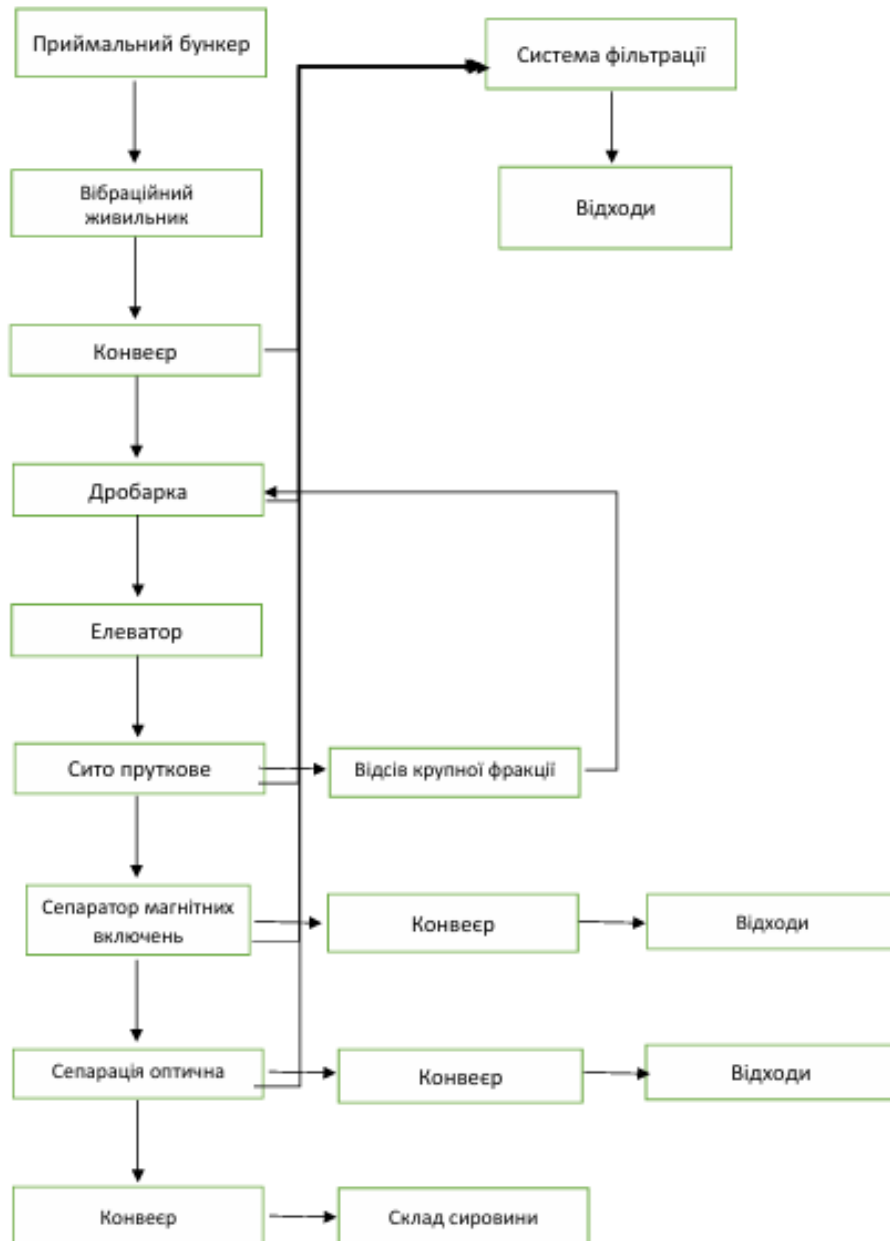


Рисунок А.3 – Комплекс переробки склобою

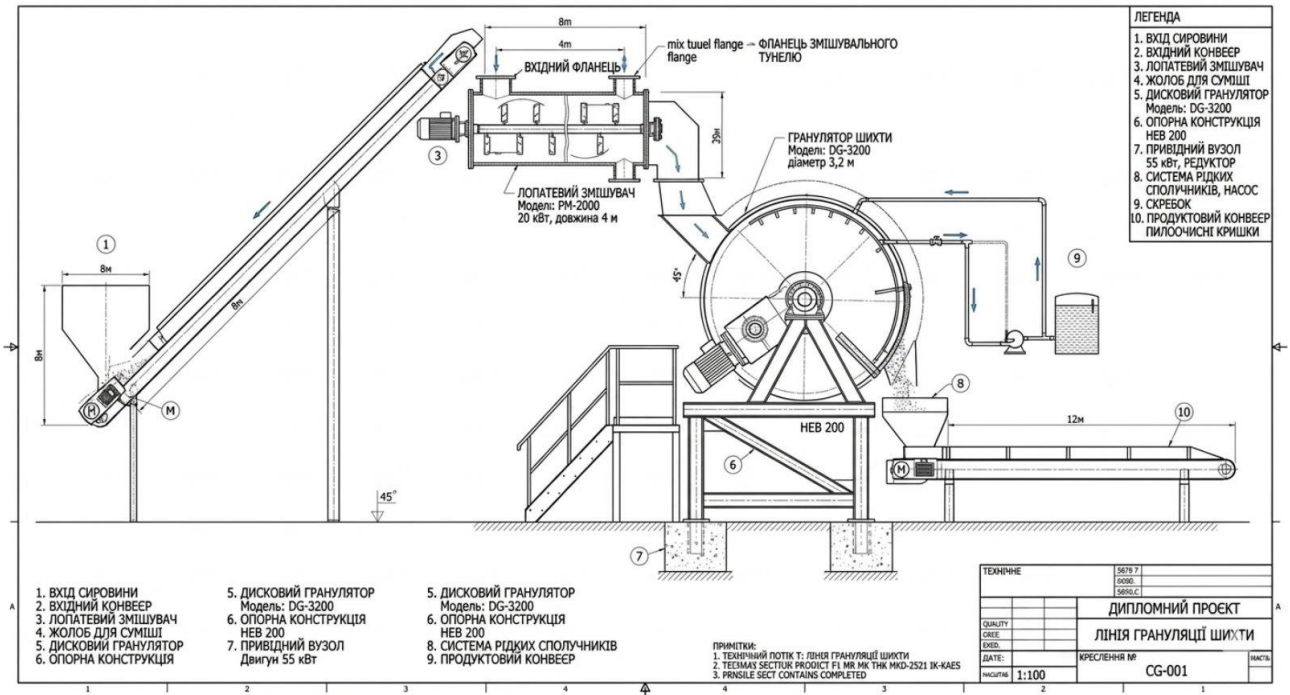


Рисунок А.4 – Схема тарілчастого гранулятора

ДОДАТОК Б

ПУБЛІКАТИВНА АКТИВНІСТЬ ЗДОБУВАЧА



Рисунок Б.1 – Сертифікат учасника конференції «Актуальні питання хімії та інтегрованих технологій в умовах кризових ситуацій»

УДК 666.1.002.68 : 691.618.54

**ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ «СКЛА ВІЙНИ» У ТЕХНОЛОГІЇ
КИЛИМОВО-МОЗАІЧНОЇ ПЛИТКИ ДЛЯ ВІДБУДОВИ УКРАЇНИ**

Гордійчук Валерій Миколайович,
головний технолог

ТОВ «Малінінський склозавод»
Абраменко Роман Вікторович,
бакалавр

Смирнова Юлія Олегівна,
кандидат технічних наук, старша викладачка

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова
Yulia.Smirnova@kroame.edu.ua

Сучасний стан будівельної галузі України характеризується безпрецедентними викликами, що спричинені бойовими діями на її території. Руїнування критичної інфраструктури, житлових масивів та промислових об'єктів призвело до накопичення мільйонів тонн відходів від руїнувань, які потребують утилізації та переосмислення як ресурсного потенціалу. Наразі традиційні підходи до виробництва будівельних матеріалів обмежуються дефіцитом енергоресурсів та логістичними складнощами видобутку природної сировини.

У цих умовах стратегія «циркулярної економіки» стає не просто екологічним трендом, а питанням національної безпеки та економічного виживання [1]. Актуальність розробки нових композиційних матеріалів на основі вторинної сировини зумовлена необхідністю швидкої, дешевої, але якісної відбудови країни. Використання відходів від руїнувань дозволяє замкнути цикл «руїнування – переробка – відновлення», мінімізуючи навантаження на навколишнє середовище.

Одним із найскладніших компонентів відходів руїнувань є скло (віконне, фасадне, тарне). Специфіка так званого «скла війни» полягає у його неоднорідності. На відміну від промислового скла, який утворюється на заводах, скло з місць обстрілів має наступні особливості:

- змішаний хімічний склад: наявність, окрім основного натрій-кальцій-силікатного скла, ще й різних домішок, покриттів (енергозберігаючі навілення) та залишків будівельних розчинів;

- забрудненість: наявність мікрочастинок металу, бетону, полімерів (залишки рам та плівок), що робить його непридатним для стандартного процесу варіння скла в печах через ризик порушення технологічного циклу;

Рисунок Б.2 – Тези конференції «Актуальні питання хімії та інтегрованих технологій в умовах кризових ситуацій», 2026 р.

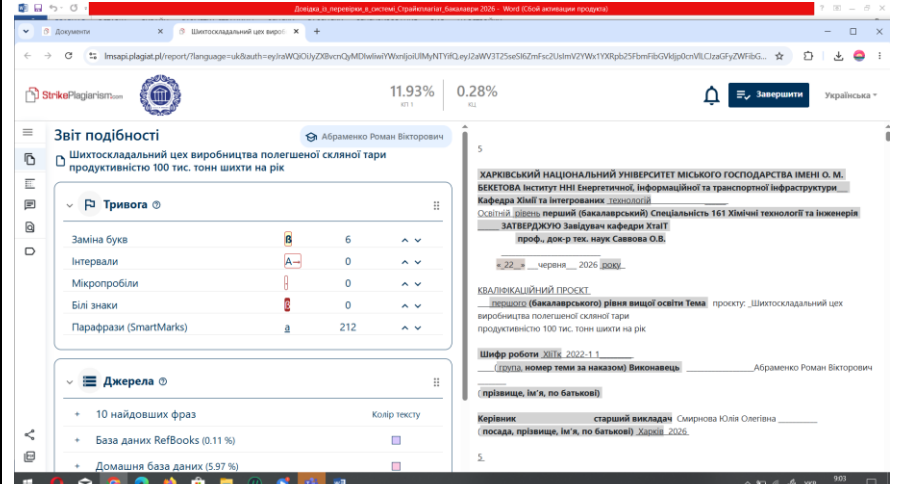
ДОДАТОК В

ДОВІДКА ПРО ПЕРЕВІРКУ РОБОТИ НА ПЛАГІАТ

ДОВІДКА

щодо перевірки кваліфікаційної роботи студента
в інформаційній онлайн-системі «StrikePlagiarism»

1. Дані про кваліфікаційну роботу студента

1	П.І.Б. студента	Абраменко Роман Вікторович
2	Група, курс, інститут	XIІТк 2022-1
3	Спеціальність, освітня програма, форма навчання	161 Хімічні технології та інженерія, Хімічні технології та інженерія, денна
4	Назва роботи	Шихтоскладальний цех виробництва полегшеної скляної тари продуктивністю 100 тис. тонн шихти на рік
5	Ідентифікаційний код в системі	334380707
6	Керівник роботи	Смирнова Юлія Олегівна
7	Дата перевірки	21 червня 2026 р.
8	За результатами перевірки оригінальний текст в роботі складає (%)	88,1
9	Копія з екрану	

2. Пояснення щодо відсотку тексту, який не є оригінальним

Виявлені запозичення	Відмітка про наявність
Регламентовані компоненти оформлення роботи (титульний аркуш, бланк завдання; встановлені назви розділів; назви ЗВО, кафедри тощо)	так
Власні назви установ, організацій; власні імена; назви програмних продуктів; торгові марки обладнання; матеріалів та речовин тощо	так
Загальноприйняті наукові положення, основоположні теоретичні принципи	так
Усталені словосполучення або описи процесів, характерні для сфери знань відповідно до тематики розділів роботи	так
Бібліографічні посилання на джерела	ні
Цитування, оформлене відповідно до вимог, в тому числі раніше опублікованих власних досліджень автора	ні
інше	ні

– елементи правомірних запозичень

– елементи неправомірних запозичень, що є академічним плагіатом

Виявлені запозичення	Відмітка про наявність
Цитування, яке не оформлене відповідно до вимог, в тому числі раніше опублікованих власних досліджень автора	ні
Подання колективної роботи як індивідуальної або роботи іншого автора як власних досліджень; використання чужих висновків або аналізу без відповідного цитування	ні
Підміна оригінальних джерел вигаданими; спотворення джерел або даних для підтвердження думки чи гіпотези автора; видалення небажаних результатів із набору даних	ні
Переклад іноземних джерел без посилання	ні
Наявність текстових спотворень для маскування цитування без посилання (парафраз, синонімізація, зміна структури тексту при збереженні змісту)	ні
інше	ні

* наявність хоча б одного елементу неправомірних запозичень, що є академічним плагіатом, розглядається як підстава для направлення кваліфікаційної роботи для доопрацювання або відхилення залежно від коефіцієнту оригінальності

Довідку склав
21.06.2026 р.



Скрипинець Анна Василівна

Склад комісії: (з врахуванням недопущення конфлікту інтересів):

Голова комісії:

завідувачка кафедри хімії та інтегрованих технологій Саввова Оксана Вікторівна.

Члени комісії:

доцент кафедри хімії та інтегрованих технологій Скрипинець Анна Василівна,

доцент кафедри хімії та інтегрованих технологій Пилипенко Олексій Іванович;

доцент кафедри хімії та інтегрованих технологій Бабіч Олена Вікторівна;

здобувачка вищої освіти другого (магістерського) рівня Яковлева Поліна Єгорівна.