

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Навчально-науковий інститут
матеріалознавства та зварювання імені Є. О. Патона
Кафедра високотемпературних матеріалів та порошкової металургії

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Юрій БОГОМОЛ

«__» _____ 2026 р.

Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою
«Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів»
спеціальності 132 «Матеріалознавство»
на тему: «Дільниця з виробництва високопористих керамічних фільтрів для
тонкого очищення рідин»

Виконав (-ла):

студент (-ка) ІІІ курсу, групи НН-п31

Єршомін Віталій Олександрович

Керівник:

Асистент, Ph.D, асистент

Наконечний Сергій Олегович

Консультант з економічно-організаційного розділу:

Доцент, к.е.н., доцент

Нараєвський С. В.

Консультант з охорони праці:

Зав. кафедри, д.т.н., професор

Левченко О. Г.

Нормоконтроль:

Доцент, к. т. н., доцент,

Бірюкович Л. О.

Рецензент:

Доцент, к. т. н., доцент

Іващенко Євген Вадимович

Засвідчую, що у цій дипломній роботі немає
запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент (-ка) _____

Київ – 2026 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

[illegible]

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Навчально-науковий інститут
матеріалознавства та зварювання імені Є. О. Патона
Кафедра високотемпературних матеріалів та
порошкової металургії

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 132 «Матеріалознавство»

Освітньо-професійна програма «Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Юрій БОГОМОЛ

«__» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Єрьомін Віталій Олександрович

1. Тема проєкту «Дільниця з виробництва високопористих керамічних фільтрів для тонкого очищення рідин», керівник проєкту Наконечний Сергій Олегович, асистент, Ph.D, асистент, затверджені наказом по університету від «28» 05 2026 р. №1988-с
2. Термін подання студентом проєкту 16.06.2026 р.
3. Вихідні дані до проєкту: плановий обсяг виготовленої продукції 112 тис.шт/рік; аналіз стану технологій виготовлення фільтрів; технологічний процес повинен забезпечувати більш високі техніко-економічні показники в порівнянні з тими, що існують на сьогодні – проникність, тонкість фільтрації.

4. Зміст пояснювальної записки: технологічний розділ, будівельний розділ, спеціальний розділ, розділу охорони праці, організаційно-економічний розділ, висновки, перелік джерел посилань

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): апаратурно-технологічна схема, камерна піч, план ділянки, техніко- економічні показники.

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Організаційно-економічний	Нараєвський С. В доцент, к.е.н.		
Охорона праці	Левченко О.Г., професор, д.т.н.		

7. Дата видачі завдання 17.04.2026 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Літературний та патентний пошук	17.04.2026 — 30.04.2026	
2	Розробка технологічного розділу	27.04.2026 — 14.05.2026	
3	Розробка будівельного розділу	13.05.2026 — 04.06.2026	
4	Розробка спеціального розділу	15.05.2026 — 02.06.2026	
5	Оформлення розділу з охорони праці	15.05.2026 — 03.06.2026	
6	Розробка організаційно-економічного розділу	18.05.2026 — 05.06.2026	
7	Підготовка матеріалу презентації	06.06.2026 — 12.06.2026	
8	Оформлення проєкту та підготовка до захисту	1.06.2026 — 09.06.2026	
9	Захист дипломної роботи	15.06.2026	

Студент

Віталій ЄРЬОМІН

Керівник

Сергій НАКОНЕЧНИЙ

Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Дільниця з виробництва високопористих
керамічних фільтрів для тонкого очищення рідин»

Київ – 2026 року

РЕФЕРАТ

Дипломний проєкт містить 92 сторінки , 10 рисунків, 16 таблиць, 22 літературних джерела , 4 плакати.

ВИСОКОПОРИСТІ МАТЕРІАЛИ, КЕРАМІКА, ОКСИД АЛЮМІНІЮ, ПРЕСУВАННЯ, СПІКАННЯ, ФІЛЬТРИ

Мета проєкту – розробка спеціалізованої виробничої ділянки та розроблення комплексного технологічного процесу виготовлення високопористих керамічних фільтрів.

У дипломному проєкті проаналізовано існуючі матеріали та методи отримання пористої кераміки з подальшим обґрунтуванням вибору оптимальної технологічної схеми напівсухого пресування. Розраховано матеріальний баланс для забезпечення річної виробничої програми обсягом 112 000 одиниць продукції. Виконано розрахунок і підбір основного та допоміжного технологічного устаткування , а також проведено аналіз охорони праці та економічної ефективності проєктного рішення.

Встановлено, що найкращим матеріалом для забезпечення високої хімічної стійкості та механічної міцності є чистий оксид алюмінію (Al_2O_3) без додавання діоксиду кремнію (SiO_2). Відсутність аморфної склоподібної фази дозволяє зберігати конструкційну міцність виробу при високих температурах. Крім того, на відміну від алюмосилікатних аналогів, чистий Al_2O_3 є інертним до дії агресивних лужних середовищ, що суттєво розширює діапазон застосування фільтрів.

ABSTRACT

The diploma project contains 92 pages, 10 figures, 16 tables, 22 references, and 4 posters.

HIGHLY POROUS MATERIALS, CERAMICS, ALUMINUM OXIDE, PRESSING, SINTERING, FILTERS

The purpose of the project is to design a specialized production area and develop a comprehensive technological process for manufacturing highly porous ceramic filters.

The diploma project analyzes existing materials and methods for producing porous ceramics, subsequently justifying the selection of the optimal technological scheme of semi-dry pressing. The material balance was calculated to ensure an annual production program of 112,000 product units. The calculation and selection of the primary and auxiliary technological equipment were performed, along with an analysis of occupational safety and the economic efficiency of the project design.

It has been established that the best material for ensuring high chemical resistance and mechanical strength is pure aluminum oxide (Al_2O_3) without the addition of silicon dioxide (SiO_2). The absence of an amorphous glassy phase allows the product to maintain its structural strength at high temperatures. Furthermore, unlike aluminosilicate analogs, pure Al_2O_3 is inert to aggressive alkaline environments, which significantly expands the application range of the filters.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	9
1.1 Вибір матеріалу і обґрунтування технологічного процесу	9
1.1.1 Вибір матеріалу.....	9
1.1.2 Кераміка на основі оксиду магнію.....	14
1.1.3 Кераміка на основі діоксиду цирконію	15
1.1.4 Кераміка на основі оксиду алюмінію та системи $Al_2O_3-SiO_2$	17
1.1.5 Вибір та обґрунтування схеми технологічного процесу	18
1.2 Опис технологічного процесу	21
1.2.1 Обґрунтування асортименту продукції	21
1.2.2 Обґрунтування вибору основних видів сировини.....	23
1.2.3 Опис технологічних операцій.....	24
1.2.4 Контроль якості продукції	25
1.3 Розрахунок і складання балансу матеріалів	28
1.4 Вибір і розрахунок кількості обладнання	35
1.4.1 Постановка вимог до вибору обладнання	35
1.4.2 Обладнання для змішування.....	35
1.4.3 Обладнання для пресування	37
1.4.4 Обладнання для сушки виробів.....	39
1.4.5 Обладнання для спікання.....	40
1.4.6 Обладнання для механічної обробки	41
1.4.7 Обладнання для контролю якості виробів	43
1.4.8 План розміщення обладнання	44
2 БУДІВЕЛЬНИЙ РОЗДІЛ	46
3 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ.....	48
3.1 Розрахунок нагрівачів печі для спікання.....	48
3.2 Тепловий розрахунок	50

4 РОЗДІЛ ОХОРОНИ ПРАЦІ.....	52
4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів	52
4.2 Інженерні рішення для забезпечення безпеки праці	55
4.2.1 Захист від пилу.....	55
4.2.2 Захист від теплового випромінювання і нагрітих поверхонь	55
4.2.3 Безпека роботи з гідравлічним пресом.....	56
4.2.4 Електробезпека	57
4.2.4 Організація робочих місць і планування ділянки	58
4.2.5 Засоби індивідуального захисту.....	59
4.3 Розрахунок інженерного рішення	60
4.3.1. Визначення вихідних даних для розрахунку	61
4.3.2. Розрахункова частина.....	61
4.3.3. Вимоги до очищення повітря та експлуатації системи.....	62
4.4 Пожежна безпека	63
4.4.1 Джерела пожежної небезпеки.....	63
4.4.2 Протипожежні заходи	64
4.4.3 Категорія приміщення.....	65
5 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	66
5.1 Розрахунок чисельності виробничих робітників.....	66
5.2 Визначення фонду заробітної плати	68
5.3 Розрахунок продуктивності праці.....	72
5.4 Розрахунок капітальних вкладень.....	72
5.5 Визначення планової собівартості одиниці продукції	76
5.6 Розрахунок показників економічної ефективності проектного рішення	78
ВИСНОВКИ	82
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	84
ДОДАТКИ	87

ВСТУП

Процеси тонкого очищення рідин відіграють визначальну роль у багатьох галузях промисловості, зокрема в хімічній та харчовій. Стабільність та ефективність фільтрації безпосередньо залежать від експлуатаційних характеристик фільтрувальних елементів. З огляду на це, розроблення сучасної технології виробництва високопористих керамічних фільтрів на основі чистого оксиду алюмінію (без утворення склоподібної фази) є вкрай актуальним науково-технічним завданням. Завдяки високій термічній стійкості, механічній міцності та інертності до агресивних лужних середовищ такі вироби здатні ефективно замінити традиційні піщані фільтри, що має суттєве практичне значення для модернізації та забезпечення безперебійної роботи промислових підприємств.

Головною метою цієї роботи є проєктування спеціалізованої виробничої ділянки та розроблення комплексного технологічного процесу виготовлення високопористих керамічних фільтрів. Для реалізації цієї мети передбачено виконання низки взаємопов'язаних завдань. Насамперед це проведення ґрунтового аналізу існуючих матеріалів та методів отримання пористої кераміки з подальшим обґрунтуванням вибору оптимальної технологічної схеми напівсухого пресування. Наступним кроком є вибір сировинної бази. Практична частина завдань охоплює розрахунок матеріального балансу для забезпечення річної виробничої програми обсягом 112 000 одиниць продукції, а також розрахунок і підбір основного та допоміжного технологічного устаткування.

Об'єктом даного дослідження виступає безпосередньо технологічний процес виробництва фільтрувальних елементів для тонкого очищення рідин. Відповідно, предметом дослідження є високопориста кераміка, властивості сировинних матеріалів на основі оксиду алюмінію та апаратурне забезпечення технологічного циклу.

					ННn31.5419.4203.003.01ПЗ										
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата											
Розробив		Єрьомін В. О.			ВСТУП					Літ.		Арк.	Акрюшів		
Перевішив		Наконечний С. О.											8	92	
Реценз.															
Н. Контр.		Бірюкович Л. О.													
Затверд.		Богомол Ю. І.													
											КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. НН-n31				

1 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Вибір матеріалу і обґрунтування технологічного процесу

1.1.1 Вибір матеріалу

Щоб вибрати матеріал для виготовлення виробу згідно із завданням проекту, слід розглянути умови роботи виробу і, як наслідок, визначити вимоги до матеріалу. У результаті вивчення відомих виробництв та на підставі літературних даних, необхідно розглянути декілька можливих матеріалів і порівняти їхні властивості, методи їх одержання та економічну доцільність їх використання. В наслідок аналізу цих даних слід вибрати й обґрунтувати найбільш прийнятий матеріал, який повністю забезпечить задані властивості виробу, виробництво якого передбачено проектом.

Керамічні матеріали, які призначені для виготовлення спеціальних виробів, механізмів і приладів з високими експлуатаційними властивостями за механічними, магнітними, оптичними і другими показниками, в зарубіжній літературі називають або технічною (hing technology ceramics) керамікою. У технічній літературі до цієї категорії відносять кераміку, яка мала однорідну, тонкозернисту структуру з рівномірно зафарбованим матеріалом (фарфор, технічна кераміка, фаянс). Груба кераміка – це вироби, що мають структуру чіткої зернистої будови, інколи з неоднорідною структурою (стінові матеріали, вогнетриви) [1]. Залежно від щільності, зумовленої хімічним і гранулометричним складом вихідних сировинних матеріалів і ступенем випалу, керамічні вироби і матеріали поділяють на пористі (водопоглинання понад 5%) і щільні.

					ННn31.5419.4203.003.01ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ						
Розробив		Єр'юмін В. О.									
Перевірів		Наконечний С. О.									
Реценз.											
Н. Контр.		Бірюкович Л. О.									
Затверд.		Богомол Ю. І.									
					Літ.		Арк.		Акрупів		
							9		92		
					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. НН-n31						

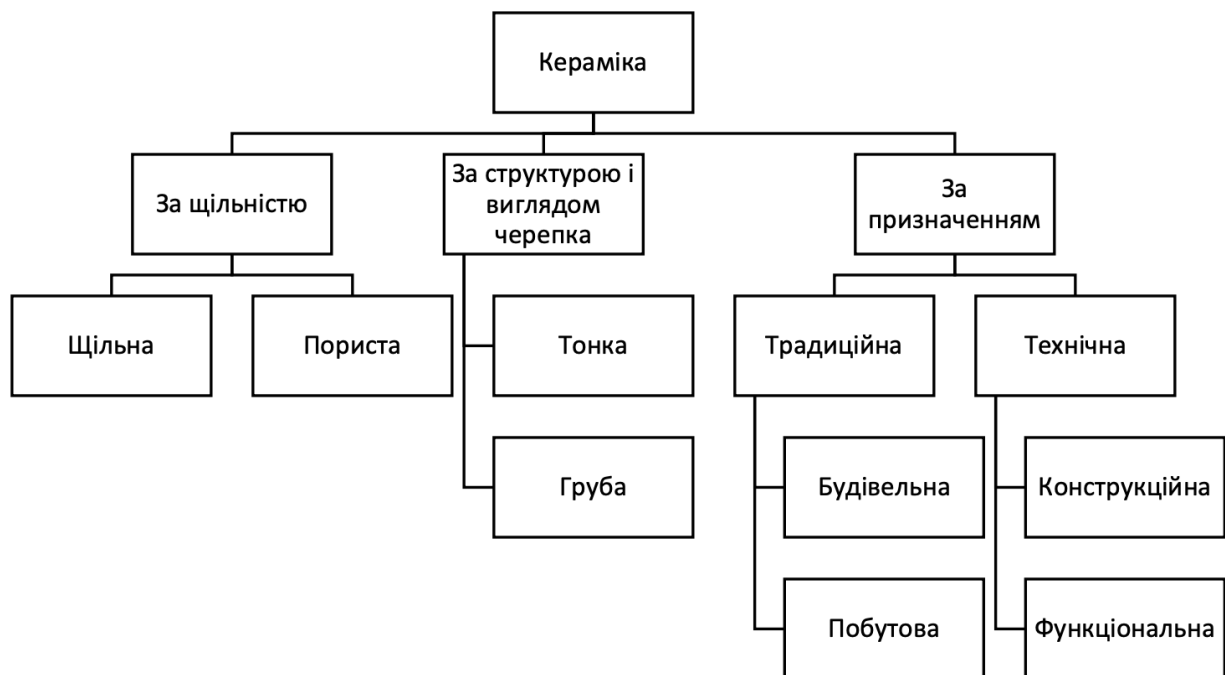


Рисунок 1.1 – Загально-технічна класифікація кераміки

Переважно матеріали з нітридної кераміки розраховані для застосування в електротехніці, оскільки вони мають високу електропровідність, п'єзоефект, раптову поляризацію, низьку активацію акцептів та інші властивості. Отже, на основі нітридної кераміки виготовляють переважно високопористі вироби з заданими електричними властивостями. Також вироби на основі нітридної кераміки мають високу хімічну стійкість для роботи в окислювальному середовищі. Проте з точки зору економічності її застосування для виготовлення високопористих фільтрів недоліком є відносно висока ціна на сировину та необхідність витрачання часу та додаткові фінансові затрати на її транспортування до місця виробництва, адже ця сировина є доволі рідкісною й дорогою.

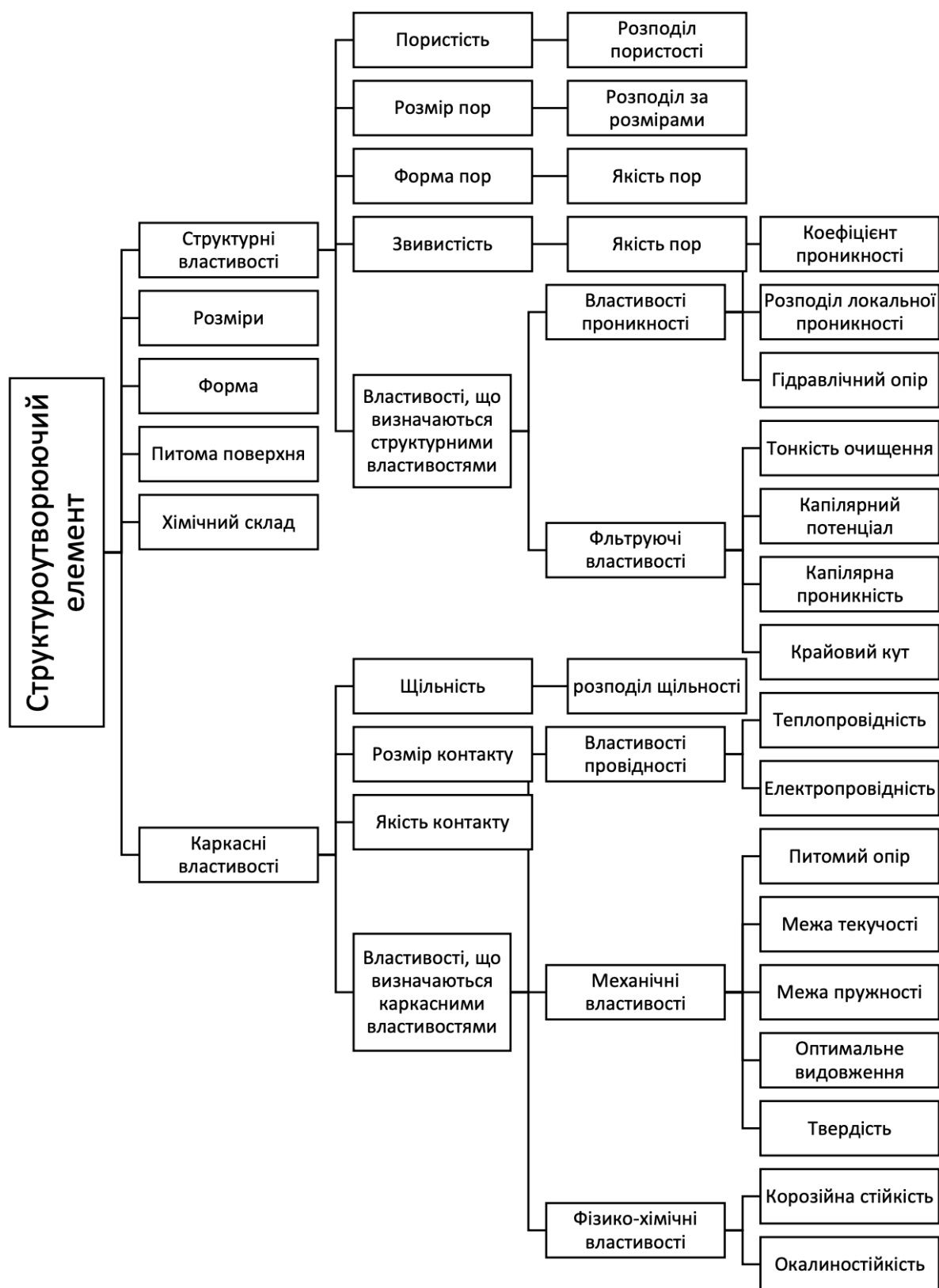


Рисунок 1.2 – Класифікація властивостей пористих матеріалів

На сьогоднішній день у науково-технічній літературі представлено значний обсяг відомостей щодо пористих керамічних матеріалів на основі оксидних сполук, зокрема оксиду алюмінію (Al_2O_3), діоксиду цирконію (ZrO_2), діоксиду кремнію (SiO_2), оксиду магнію (MgO) та оксиду берилію (BeO).

Аналіз джерельної бази свідчить, що домінуюче положення за кількістю досліджень займають роботи, присвячені технологіям отримання та вивченню фізико-хімічних властивостей виробів на основі корунду (Al_2O_3) та цирконію (ZrO_2). Натомість інформація щодо особливостей синтезу та експлуатації пористих структур із оксиду магнію (MgO) та оксиду берилію (BeO) зустрічається значно рідше і носить фрагментарний характер. Окремо слід виділити діоксид кремнію (SiO_2), який традиційно знаходить своє основне застосування у виробництві вогнетривів. Останні, як правило, класифікуються як щільна кераміка, що дещо обмежує розгляд цього матеріалу в контексті високопористих проникних структур.

В цілому, саме оксидна кераміка є найбільш розповсюдженим класом матеріалів для виготовлення високопористих виробів промислового призначення.

Систематизацію властивостей таких матеріалів детально опрацьовано у працях Вітязя П.А. Ним було розроблено узагальнену класифікацію властивостей пористих матеріалів, загальний вигляд якої представлено на рисунку 1.3 [2].

Визначальними факторами, що формують специфічні функціональні характеристики пористих матеріалів, є (рис. 1.2):

- форма та морфологія частинок;
- вид структуроутворюючого елементу;
- хімічний склад вихідної сировини;
- питома поверхня матеріалу.

Ці параметри складають фундамент для прогнозування властивостей готового виробу, оскільки існує тісний кореляційний зв'язок між каркасними характеристиками (архітектурою твердої фази) та структурними властивостями пористого простору.

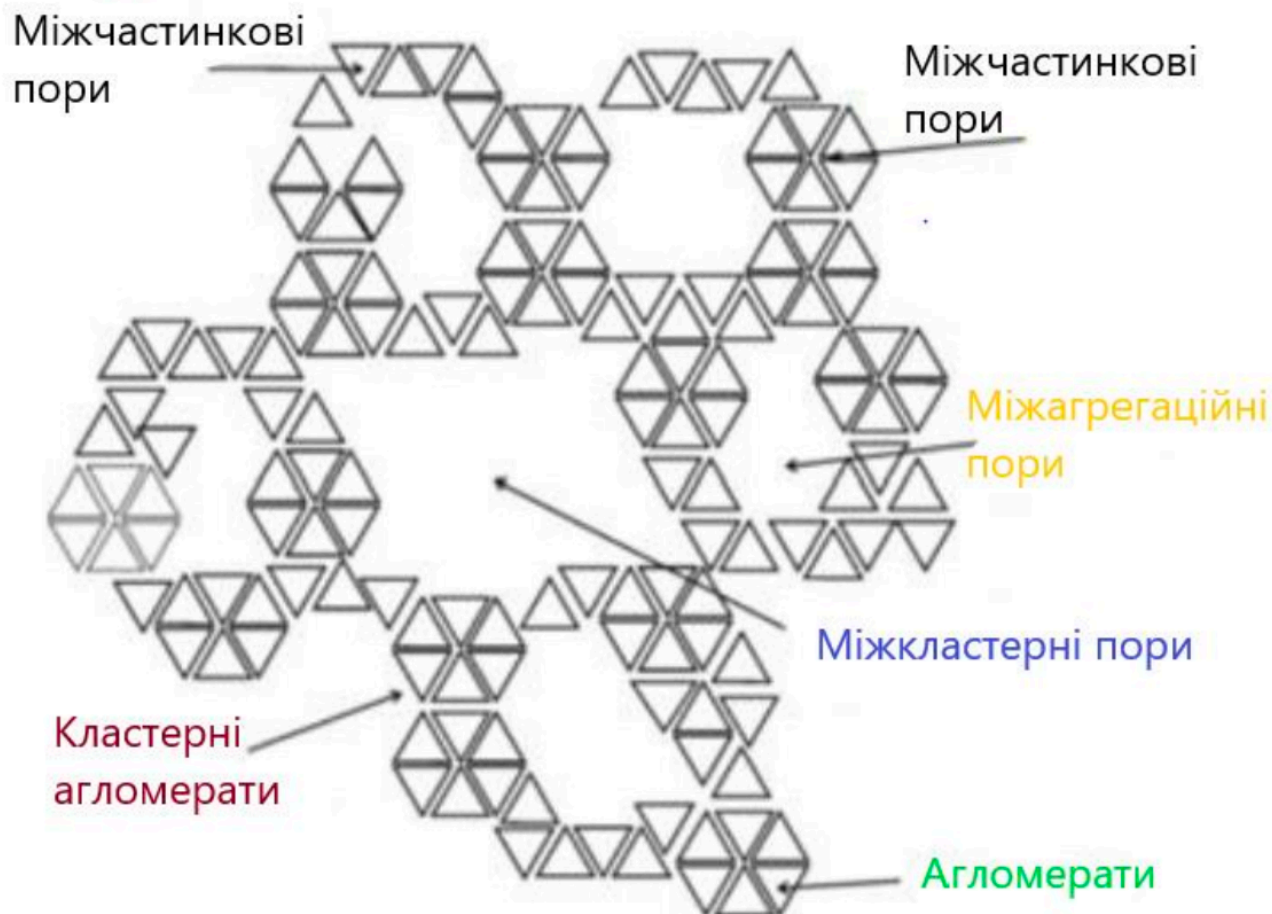


Рисунок 1.3 – Структурні елементи і типи форм

Ключовим параметром, що дозволяє провести ідентифікацію та оцінку якості пористих виробів, виступає характеристика пористої структури. Науковцями було здійснено спробу класифікувати пористі матеріали, базуючись на комплексному підході, що враховує походження пор, їхню геометричну структуру, розмірні характеристики, а також ступінь доступності для проникнення рідин та газів із зовнішнього середовищах (рис. 1.3) [3].

Відповідно до розробленої класифікації, за критеріями походження та особливостями будови, пори прийнято розділяти на дві фундаментальні категорії, кожна з яких має свої особливості впливу на кінцеві властивості матеріалу.

1.1.2 Кераміка на основі оксиду магнію

Керамічні матеріали на основі оксиду магнію (MgO) займають важливе місце серед вищих вогнетривів завдяки комплексу унікальних фізико-хімічних властивостей. Визначальними характеристиками цієї групи матеріалів є надзвичайно висока температура плавлення, що становить 3073 K, а також широка доступність та значні запаси магнезійної сировини у земній корі.

У промислових масштабах оксид магнію різного ступеня чистоти отримують шляхом складної хімічної переробки природних мінералів, таких як магнезити та доломіти, а також шляхом екстракції з морської води. Варто зазначити, що навіть у продукті, який класифікується як «хімічно чистий», неминуче присутня домішка оксиду кальцію (CaO), вміст якої може досягати 1%. Це обумовлено геохімічною спорідненістю кальцію та магнію.

З кристалографічної точки зору, оксид магнію являє собою безбарвні кристали кубічної сингонії. Його внутрішня будова характеризується кристалічною ґраткою типу кам'яної солі (NaCl) з параметром елементарної комірки, що дорівнює 0,4 нм.

Важливою перевагою MgO як конструкційного матеріалу є його фазова стабільність. Сполука стійка на повітрі та, на відміну від багатьох інших оксидів (наприклад, ZrO_2 або SiO_2), не зазнає поліморфних перетворень у всьому діапазоні температур аж до точки плавлення. Однак, хімічна стійкість матеріалу має свої обмеження. При контакті з вуглецем або графітом в умовах високих температур (близько 2073 K) відбувається реакція відновлення оксиду до металевого магнію. Цей процес набуває особливої інтенсивності у вакуумному середовищі, що необхідно враховувати при виборі матеріалів для футерування вакуумних печей.

Щодо корозійної стійкості, то оксид магнію демонструє високу інертність при контакті з речовинами основного складу (лужними розплавами, шлаками). Водночас, він проявляє яскраво виражені основні властивості, активно взаємодіючи з неорганічними кислотами навіть за кімнатної температури з утворенням відповідних солей магнію.

					ННп31.5419.4203.003.01ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

Технологічний процес виготовлення щільної кераміки з чистих оксидів у випадку використання MgO ускладнюється рядом специфічних особливостей сировини, які вимагають коригування традиційних методів:

– активна рекристалізація: В інтервалі температур 1573–1673 К відбувається інтенсивний ріст зерен периклазу. Утворення великих монокристалів на проміжних стадіях суттєво знижує поверхневу активність порошку, що ускладнює подальше спікання виробів до теоретичної щільності.

– проблеми диспергування та очищення: При помолі порошоків у сталевих млинах відбувається намол заліза. Традиційний метод хімічного збагачення (відмивка кислотами) у цьому випадку непридатний, оскільки соляна кислота розчиняє саму матрицю MgO разом із домішками заліза.

– схильність до гідратації: Оксид магнію активно взаємодіє з водою з утворенням гідроксиду магнію $Mg(OH)_2$. Це створює значні перешкоди при використанні методів "мокрого" формування, таких як вологе подрібнення або лиття шлікеру, оскільки змінюються реологічні властивості суспензії та об'ємні характеристики матеріалу.

З огляду на вищезазначені фактори, технологія виробництва високоякісної кераміки базується на попередній термічній обробці сировини. Процес передбачає або прожарювання у діапазоні температур від 1523 К до 1623 К, або високотемпературну обробку за 1973 К (іноді застосовують електроплавлення) з наступним тонким розмелюванням отриманого клінкеру [3].

1.1.3 Кераміка на основі діоксиду цирконію

Діоксид цирконію (ZrO_2) є одним із найбільш досліджуваних оксидних матеріалів сучасної технічної кераміки завдяки явищу поліморфізму. Ця сполука здатна утворювати три основні кристалічні модифікації, стабільність яких залежить від температурних умов: низькотемпературну моноклінну ($\alpha-ZrO_2$), середньотемпературну тетрагональну ($\beta-ZrO_2$) та високотемпературну кубічну ($\gamma-ZrO_2$). Зазначені фази за певних термодинамічних умов здатні до оборотних енантіотропних перетворень, що відбуваються за схемою:

					ННп31.5419.4203.003.01ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

$$\alpha \leftrightarrow \beta \leftrightarrow \gamma .$$

Ці фазові переходи супроводжуються зміною об'єму, що має критичне значення для технології виготовлення керамічних виробів.

У природному середовищі моноклінний діоксид цирконію (ZrO_2) зустрічається у вигляді мінералу баделеїту. Однак, безпосереднє використання природного баделеїту як сировини для високотехнологічної кераміки є вкрай обмеженим. Це обумовлено, по-перше, його недостатньою хімічною чистотою та нестабільністю фізико-хімічних властивостей через наявність різноманітних домішок, а по-друге - відносною рідкістю родовищ та їх обмеженим поширенням у земній корі.

У зв'язку з цим, промисловість орієнтується на синтетичну сировину. Існуючі технологічні схеми переробки циркону (ZrSiO_4) дозволяють отримувати діоксид цирконію як технічної, так і реактивної кваліфікації з контрольованим вмістом домішок, що є необхідною умовою для створення якісних конструкційних та функціональних матеріалів.

Для забезпечення фазової стабільності матеріалу та запобігання руйнуванню виробів під час охолодження (внаслідок об'ємних змін при поліморфних переходах) технологія передбачає створення твердих розчинів, тобто стабілізацію ZrO_2 . Для одержання таких твердих розчинів у сучасній промисловості та лабораторній практиці застосовують наступні методи:

1. Твердофазний синтез: Одержання стабілізованого продукту шляхом механічного змішування порошку моноклінного діоксиду цирконію з модифікувальними добавками (оксидами Y_2O_3 , CaO , MgO тощо). Процес включає стадію тонкого помелу шихти з наступною високотемпературною термообробкою суміші в інтервалі температур 1873–2073 К для забезпечення дифузійних процесів.

2. Метод плавлення: Одержання твердих розчинів шляхом електроплавки механічних сумішей відповідних оксидів у дугових печах. Цей метод дозволяє отримати щільний плавлений матеріал з високим ступенем гомогенізації компонентів.

					<i>ННп31.5419.4203.003.01ПЗ</i>	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

3. Хімічне змішування прекурсорів: Механічне змішування хімічних напівпродуктів (гідроксидів, карбонатів або солей компонентів) з подальшою їх кальцинацією за помірних температур 1273–1473 К. Цей підхід дозволяє знизити температуру синтезу порівняно з класичним твердофазним методом.

4. Розчинні методи: Одержання істинних розчинів солей компонентів з наступним застосуванням спеціальних методів сушіння та дегідратації. До таких методів відносяться кріохімічна обробка (сублімаційне сушіння), гідротермальний синтез або метод розпилювальної сушки. Ці технології забезпечують високу хімічну однорідність на молекулярному рівні.

5. Метод співосадження: Одержання гомогенних сумішей шляхом одночасного осадження гідроксидів або нерозчинних сполук (як органічної, так і неорганічної природи) з розчинів солей. Цей метод є одним із найефективніших для отримання нанодисперсних порошків стабілізованого діоксиду цирконію [5].

1.1.4 Кераміка на основі оксиду алюмінію та системи $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2$

Особливе місце серед конструкційних матеріалів для виготовлення пористих проникних структур займає кераміка на основі чистого оксиду алюмінію (Al_2O_3). Цей матеріал, відомий у своїй стабільній модифікації як $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (корунд), характеризується винятковим поєднанням механічної міцності, твердості та діелектричних властивостей.

Критично важливою особливістю високочистої корундової кераміки є відсутність або мінімальний вміст скловидної фази, основним компонентом якої традиційно виступає діоксид кремнію (SiO_2). У звичайній алюмосилікатній кераміці SiO_2 виконує роль плавню, що знижує температуру спікання, але при цьому утворює прошарки скла на межах зерен кристалічної фази. Ці аморфні прошарки є «слабкою ланкою» матеріалу: вони розм'якшуються при підвищенні температури значно раніше, ніж основний кристал, і мають низьку хімічну стійкість.

Виключення SiO_2 зі складу матеріалу забезпечує дві фундаментальні переваги для фільтрувальних елементів:

					ННп31.5419.4203.003.01ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

1. Підвищення робочої температури: Відсутність легкоплавкої склофазы дозволяє зберігати конструкційну міцність виробу аж до температур, наближених до точки плавлення корунду (2050°C). Це робить можливим застосування фільтрів у процесах високотемпературного синтезу та металургії.

2. Стійкість до лужних середовищ: Діоксид кремнію є кислотним оксидом, тому він активно взаємодіє з лужними розплавами та розчинами, що призводить до швидкої корозії фільтра. Чистий Al_2O_3 є амфотерним оксидом з переважанням основних властивостей, що робить його інертним до дії лугів. Це суттєво розширює діапазон застосування корундових фільтрів у хімічній промисловості, де алюмосилікатні аналоги швидко руйнуються.

У випадках, коли наявність кремнію допускається технічним завданням, розглядається бінарна система $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2$. Згідно з діаграмою стану, єдиною термодинамічно стійкою сполукою у цій системі при високих температурах є муліт ($3\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$).

Мулiт плавиться конгруентно при температурі 2207 K і має низький коефіцієнт термічного розширення, що забезпечує високу термостійкість виробів. Синтез матеріалів на основі цієї системи є перспективним із використанням плазмових технологій. Для прогнозування поведінки таких матеріалів при експлуатації критичне значення мають термодинамічні дані про процеси випаровування компонентів, які досліджуються методами високотемпературної мас-спектрометрії. Однак, за стійкістю в агресивних лужних середовищах та граничною робочою температурою мулітова кераміка поступається матеріалам із чистого оксиду алюмінію [6].

1.1.5 Вибір та обґрунтування схеми технологічного процесу

Для реалізації технології отримання високопористих проникних матеріалів із заданим комплексом експлуатаційних характеристик доцільно використовувати методи порошкової металургії та технології кераміки. Серед існуючого різноманіття методів консолідації дисперсних матеріалів найбільш перспективними та технологічно виправданими вважаються два підходи: формування заготовок із

					ННп31.5419.4203.003.01ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

прикладанням зовнішнього тиску з подальшим спіканням та вільне спікання насипних порошків (гравітаційне формування).

Узагальнена блок-схема технологічного процесу виробництва пористих виробів з прикладанням тиску представлена на рисунку 1.4. З рисунку видно, що схема складається з декількох операцій.[7]

1. Дозування компонентів. На першому етапі здійснюється високоточне вагове дозування вихідних компонентів шихти. Дотримання стехіометрії та масових часток компонентів є необхідною умовою для забезпечення стабільності фазового складу матеріалу [7].

2. Приготування шихти (змішування). Другий етап передбачає гомогенізацію суміші для рівномірного розподілу компонентів в об'ємі. Якість змішування безпосередньо впливає на ізотропність властивостей майбутнього фільтра.

3. Формування заготовок. На третьому етапі відбувається пресування порошкової маси. Для цього застосовують тиск середнього діапазону (від 50 до 200 МПа). Залежно від конфігурації виробу (трубка, пластина, складний профіль) обирають метод мундштучного (екструзійного) або гідростатичного формування. Цей етап забезпечує отримання "сирцю" з необхідною транспортною міцністю.

4. Сушка напівфабрикату. Четвертий етап включає видалення тимчасових технологічних зв'язок (пластифікаторів) або вологи, що були введені для полегшення процесу пресування. Режим сушки має бути м'яким, щоб уникнути розтріскування заготовки через виникнення капілярних напружень.

5. Високотемпературна обробка (спікання). Завершальним та найбільш відповідальним етапом є спікання (у вихідній схемі позначено як шостий етап). Саме під час цієї операції формується остаточна мікроструктура матеріалу та його фізико-механічні властивості.



Рисунок 1.4 – Загальна технологічна схема отримання порошкових виробів

Такий спосіб використовують для виготовлення фільтрів для очистки середовища з розміром часток менше 5-8 мкм при очистці дизельного палива. На рисунку 1.5 представлено технологічну схему для виготовлення високопористих керамічних фільтрів без пресування [7].



Рисунок 1.5 – Технологічна схема виготовлення високопористих виробів методом спікання вільно насипаного порошку

Технологічний процес виготовлення розпочинається з точного дозування та ретельної гомогенізації порошкової суміші, що є необхідною умовою для забезпечення рівномірного розподілу частинок та оптимізації ущільнення матеріалу. Підготовлену шихту вільно засипають у формувальні матриці, після чого піддають процесу спікання. Зазначений метод формування високопористих проникних структур є технічно доцільним у випадках, коли пріоритетним експлуатаційним параметром є висока пропускна здатність фільтрувального елемента (максимальна витрата рідини за одиницю часу), тоді як вимоги до тонкості очищення робочого середовища залишаються нижчими.

У рамках даного дослідження за основу обрано метод, що передбачає стадію компактування (формування під тиском), оскільки він дозволяє отримувати вироби складної геометричної форми з високою механічною міцністю каркасу.

1.2 Опис технологічного процесу

Технологія виготовлення керамічних фільтрів базується на методах порошкової металургії та включає кілька послідовних стадій. На першому етапі проводиться точне дозування оксиду алюмінію та пластифікатора ПВС, після чого компоненти ретельно змішуються. Підготовлена шихта засипається у прес-форми, де відбувається формування заготовок під тиском від 50 до 100 МПа.

Наступним етапом є сушіння спресованих виробів при температурі від 80 до 100°C для видалення вологи та полімеризації зв'язки. Спікання заготовок здійснюється при температурі від 1350 до 1400°C з витримкою протягом 2 годин, що забезпечує формування міцної кристалічної структури. Завершується процес механічною обробкою та заключним контролем якості готової продукції.

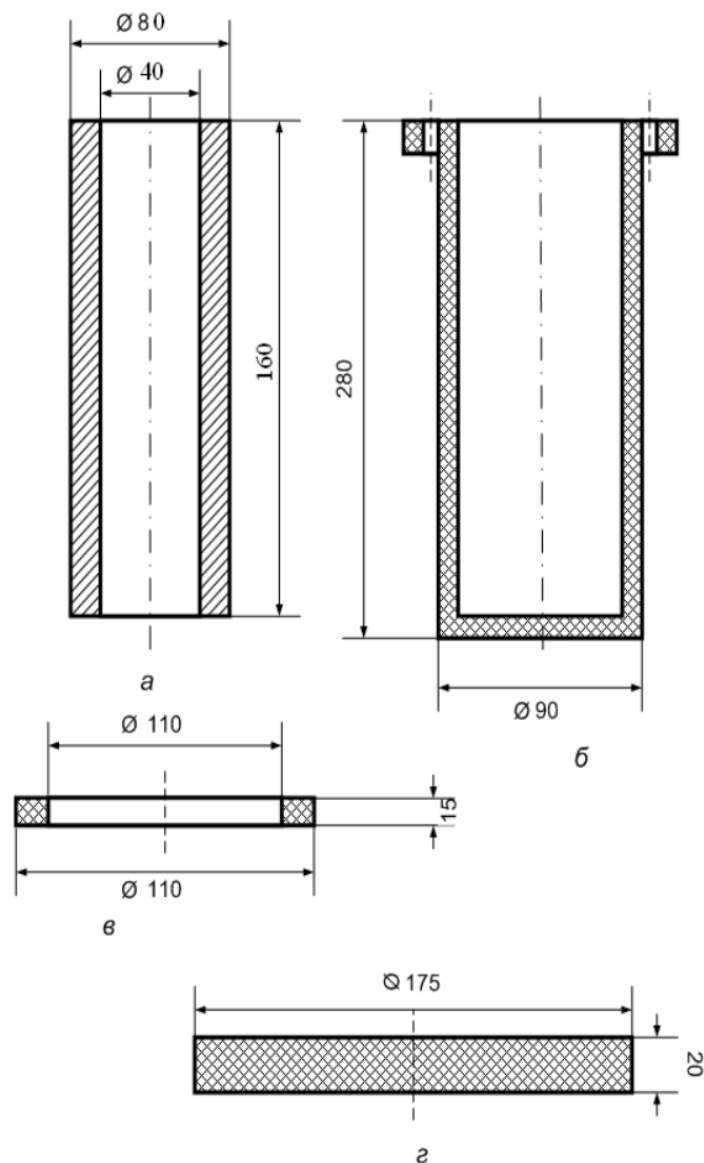
1.2.1 Обґрунтування асортименту продукції

Проектований цех орієнтований на виготовлення фільтрів для тонкого очищення рідин та повітря в різних галузях промисловості. З огляду на модернізацію

					<i>ННп31.5419.4203.003.01ПЗ</i>	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

виробництва, проектна продуктивність становить 112 000 виробів на рік. Основним видом продукції є високопористий керамічний фільтр для очищення спирту (рис. 1.6 г), що має стабільний попит у лікєро-горілочаній галузі у зв'язку з необхідністю заміни застарілих піскових фільтрів на більш ефективні керамічні аналоги.

Конструкція фільтрів повинна забезпечувати надійну герметизацію у вентиляційних або гідравлічних системах та витримувати механічні навантаження, що виникають під час експлуатації. Важливою вимогою є відсутність виділення часток або волокон матеріалу у відфільтроване середовище



а – фільтруюча труба; б – фільтруючий стакан; в – фільтруюче кільце для занурених насосів; г – фільтруючий диск для очищення водо-спиртових розчинів

1.2.2 Обґрунтування вибору основних видів сировини

Для забезпечення високої хімічної стійкості та механічної міцності як основну сировину обрано оксид алюмінію без додавання діоксиду кремнію.

Таблиця 1.1 – Технологічні умови на сировину та допоміжні матеріали

Найменування	Характеристика	Державний стандарт або технічні умови
Порошок Al_2O_3	Основа	ТУ 6-09-426-75 [10]
ПВС	Пластифікатор	ГОСТ 6709-72 [11]

У мінералогії стабільна кристалічна модифікація оксиду алюмінію α - Al_2O_3 відома під назвою корунд(рис. 1.5). Завдяки високій прозорості та винятковим оптичним характеристикам великі макрокристали цього мінералу класифікуються як дорогоцінне каміння. Наявність ізоморфних домішок у кристалічній ґратці зумовлює широку варіативність його забарвлення: червоний різновид мінералу ідентифікується як рубін, тоді як терміном «сапфір» (який традиційно асоціюється переважно із синім кольором) у сучасній гемологічній номенклатурі позначають кристалічний α -оксид алюмінію будь-якого іншого відтінку, окрім червоного. Попри те, що сучасні технологічні процеси дозволяють вирощувати синтетичні кристали, які візуально та фізико-хімічно абсолютно ідентичні природним аналогам, мінерали натурального походження зберігають суттєво вищу ринкову вартість.

Окрім ювелірної галузі, унікальні термомеханічні властивості корунду зумовлюють його активне використання у важкій промисловості як високоефективного вогнетривкого матеріалу. Своєю чергою, інші поліморфні форми оксиду алюмінію відіграють фундаментальну роль у хімічній промисловості та науково-дослідній практиці. Завдяки своїй структурі вони здебільшого використовуються як гетерогенні каталізatori, високоактивні адсорбенти або хімічно інертні наповнювачі в різноманітних технологічних процесах.

Оксид алюмінію Al_2O_3 у формі корунду ($\alpha - \text{Al}_2\text{O}_3$) характеризується високою температурою плавлення (2044) та хімічною інертністю. Він практично не розчиняється у кислотах і є стійким до окислювальних середовищ, що дозволяє використовувати фільтри при температурах до 800 С°. Застосування чистого оксиду алюмінію дозволяє отримати фільтроелементи з високою брудосмністю.

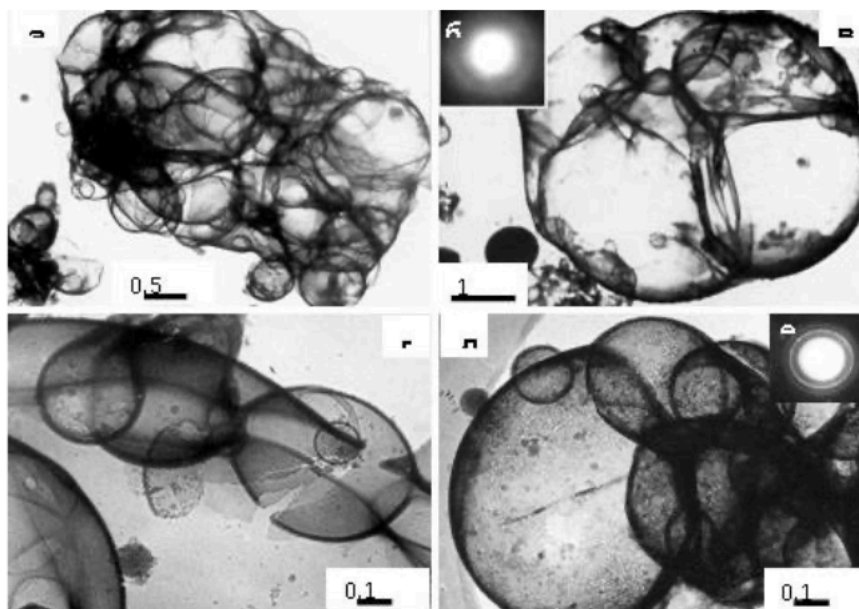


Рисунок 1.5 – Електронно-мікроскопічне зображення порошку оксиду алюмінію, синтезованого методами плазмохімії з водяного розчину солі азотнокислого алюмінію.

1.2.3 Опис технологічних операцій

Дозування компонентів проводиться ваговим або об'ємним методом. Оскільки матеріал є двокомпонентним за наповнювачем, вміст порошку Al_2O_3 становить 61% від маси сухої шихти, решта ~39% – кукурудзяний крохмаль (згідно з розрахунком об'ємного заміщення пор). Після завантаження порошку в змішувач вводять пластифікатор (розчин ПВС). Операція змішування триває 1 годину до досягнення повної однорідності, що критично важливо для забезпечення рівномірної пористості виробу.

Формування виробів типу «втулка» або «диск» проводиться на автоматичних гідравлічних пресах (наприклад, ДА-1534). Використовується метод холодного

двостороннього пресування в закритих прес-формах. Питомий тиск становить від 50 до 100 МПа. Плавне навантаження на гідравлічному пресі мінімізує ризик утворення тріщин у крихкому матеріалі.

Спінання є ключовою операцією, під час якої заготовка набуває кінцевих фізико-механічних властивостей. Процес відбувається в камерних печах при температурі від 1350 до 1400°C.

Оскільки система переважно складається з Al_2O_3 , переважає твердофазний дифузійний механізм спінання. Перенос речовини здійснюється за рахунок об'ємної та поверхневої дифузії, що призводить до зближення частинок та формування міцних міжкристалічних зв'язків. На відміну від сумішей з кремнеземом, у чистому оксиді алюмінію не відбувається утворення муліту, що підвищує вогнетривкість та стабільність структури при екстремальних навантаженнях.

1.2.4 Контроль якості продукції

Контроль якості охоплює всі етапи виробництва:

- сировина: перевірка дисперсності та чистоти порошку Al_2O_3 .
- пресування: контроль ваги наважки, геометричних розів та відсутності розшарувань.
- спінання: моніторинг температури та часу витримки.
- готова продукція: візуальний огляд на наявність сколів та перевірка фільтраційних властивостей.

Визначальним параметром робочого процесу є початковий гідродинамічний опір фільтра, який характеризує величину перепаду тиску під час проходження потоку рідини або газу через абсолютно чисте (незасмічене) пористе середовище за початкових умов експлуатації. Цей показник є комплексною величиною, значення якої детермінується низкою фізико-механічних та гідродинамічних факторів, зокрема: структурними особливостями матеріалу, середнім розміром пор, товщиною фільтрувальної перегородки, кінематичною в'язкістю робочого середовища, а також швидкістю його потоку.

					ННп31.5419.4203.003.01ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

На практиці базове значення первинного гідродинамічного опору фіксується за умови досягнення виробом нормованої продуктивності. Для повного та об'єктивного опису експлуатаційних властивостей фільтрувального елемента обов'язковою вимогою є побудова його гідродинамічної характеристики - графічної залежності опору чистого фільтра від витрати робочого середовища. Таке профілювання здійснюється у репрезентативному діапазоні навантажень, що відповідають 50, 75, 100 та 125 % від номінальної продуктивності установки. Загалом, для комплексної оцінки якості фільтрів, що включає перевірку їхньої ефективності, гідродинамічного опору, механічної міцності та інших критичних параметрів, застосовується стандартизована система методів випробувань (табл. 1.2) [8].

Таблиця 1.2 – Методи оцінки ефективності фільтрів [8]

Характеристика	Види	Опис
1	2	3
Ефективність фільтру	Оптична мікроскопія	Використовується для підрахунку кількості частинок до і після фільтрації
	Лазерна дифракція	Використовується для вимірювання розміру частинок і визначення їх концентрації
	Метод з використанням аерозолію	Аерозоль певного розміру пропускається через фільтр, і кількість частинок, що пройшли через фільтр, вимірюється за допомогою лазерного або іншого детектора
	Метод фільтрації бактерій та вірусів	Фільтр пропускає розчин, що містить бактерії або віруси, і на виході проводиться підрахунок колоній на живильному середовищі

Продовження таблиці 1.2

1	2	3
Тестування перепаду тиску	Метод Дарсі	Вимірювання перепаду тиску на різних швидкостях потоку для визначення початкового та кінцевого гідродинамічного опору
	В'язкість рідини	Використання рідин з різною в'язкістю для визначення впливу в'язкості на перепад тиску
Механічна міцність	Тест на розрив під тиском	Визначення максимальної сили, яку фільтр може витримати перед розривом
	Тест на розрив при деформації	Вимірювання деформації фільтра при прикладенні навантаження до розриву
Зносостійкість	Циклічне навантаження	Повторювані цикли тиску для оцінки довговічності фільтра
	Абразивне випробування	Оцінка стійкості фільтра до зносу під дією абразивних частинок
Хімічна стійкість	Тест на стійкість до кислот і лугів	Вимірювання змін у властивостях фільтра після впливу агресивних хімічних речовин
	Тест на стійкість до органічних розчинників	Оцінка впливу органічних речовин на фільтр
Термостійкість	Тест на високу температуру	Вимірювання змін у властивостях фільтра після впливу високих температур
	Тест на циклічне нагрівання та охолодження	Оцінка стійкості фільтра до термічних циклів.

1.3 Розрахунок і складання балансу матеріалів

Відповідно до річного плану, виготовлення продукції складає 112 тис. шт. Матеріал, з якого будемо виготовляти фільтри, являє собою чистий оксид алюмінію (Al_2O_3). Густина Al_2O_3 складає $3,95 \text{ г/см}^3$. Об'єм одного фільтру становить $481,06 \text{ см}^3$. Маса одного фільтру, враховуючи його високу пористість (62,5%), становить $m = \rho \cdot V \cdot (1 - 0,625) = 3,95 \cdot 481,06 \cdot 0,375 = 0,713 \text{ кг}$. Річний випуск продукції становить 79,86 т.

Тому обрахуємо кількість матеріалу, який потрібно затратити на кожний день виробництва й на кожну операцію з технологічної схеми. Для визначення кількості днів, при яких буде працювати виробництво, потрібно врахувати неробочі дні, свята, плановий ремонт устаткування, вихідні дні й відняти це все від загальної кількості днів у році. Таким чином дізнавшись кількість днів, можна обрахувати масу матеріалу, яку необхідно затратити на кожний день виробництва. Так при переробці вихідної продукції виникають втрати, врахуємо їх, тобто кількість матеріалу потрібно брати з надлишком, для запобігання цього явища. Кількість матеріалу, що надходить на першу операцію, в перший день обраховуємо з урахуванням втрат за формулою:

$$A = \frac{G}{n} \cdot ,$$

де G – річний випуск продукції, кг

n – кількість робочих днів на рік.

Таблиця 1.3 – Розрахунок кількості днів виробництва

	Кількість днів
Загальна кількість днів	365
Вихідні дні	104
Загально національні свята	9

Продовження таблиці 1.3

Час на планово-попереджувальний ремонт	12
Неробочі дні підприємства	125
Істинні робочі дні	240

$$A = \frac{79856}{240} = 332,73 \text{ (кг)} .$$

Під час переробки вихідного продукту виникають втрати, які необхідно враховувати. З цієї причини кількість матеріалу потрібно планувати з певним запасом, щоб уникнути подібних ситуацій. Розрахунок кількості матеріалу, що поступає на першу операцію у перший день, здійснюється з урахуванням втрат за формулою:

$$A_0 = \frac{A}{\varphi} ,$$

де φ - вихід придатного по всьому процесу

Необхідно враховувати, що технологічна схема включає 7 операцій. Вилучення прямого поопераційного витягу на кожній операції визначаємо за формулою:

$$\eta = 100 - (a + b),$$

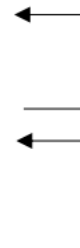
де a – зворотні витрати

b – незворотні витрати

					ННп31.5419.4203.003.01ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

Незворотні витрати	Вихідний матеріал	Зворотні витрати
--------------------	-------------------	------------------

0,1	Дозування порошку	0
0,3	Змішування	0
0,6	Пресування	0,3
0,1	Сушка	0,2
1	Спікання	0
0,5	Механічна обробка	0
0,1	Контроль якості виробу	0



Готовий виріб

Рисунок 1.12 – Витрати на операції з виготовлення фільтру

Визначимо загальний поопераційний витяг на додаткових операціях за формулою:

$$\begin{aligned}
 n_1 &= 100 - (0 + 0,1) = 99,9\%; \\
 n_2 &= 100 - (0,3) = 99,7\%; \\
 n_3 &= 100 - (0,6 + 0,3) = 99,1\%; \\
 n_4 &= 100 - (0,1 + 0,2) = 99,7\%; \\
 n_5 &= 100 - (0,3 + 1) = 99\%; \\
 n_6 &= 100 - (0,5) = 99,5\%; \\
 n_7 &= 100 - (0,1) = 99,9\%.
 \end{aligned}$$

Визначаємо загальний витяг на кожній операції відносно вихідного матеріалу за формулою:

$$\varphi_n = \left(\frac{n_1}{100} * \frac{n_2}{100} \cdots \frac{n_n}{100} \right) * 100 = \frac{n_1 n_2 \dots n_n}{100^n},$$

$$\varphi_1 = n_1 = 99,9\%;$$

$$\varphi_2 = \frac{n_2 \varphi_1}{100} = 99,6\%;$$

$$\varphi_3 = \frac{n_3 \varphi_2}{100} = 98,7\%;$$

$$\varphi_4 = \frac{n_4 \varphi_3}{100} = 98,41\%;$$

$$\varphi_5 = \frac{n_5 \varphi_4}{100} = 97,42\%;$$

$$\varphi_6 = \frac{n_6 \varphi_5}{100} = 96,94\%;$$

$$7 = \frac{n_7 \varphi_6}{100} = 96,84\%.$$

Визначаємо кількість сировини, яка має надійти на початок процесу за формулою:

$$A_0 = \frac{332,73}{96,84} * 100 = 343,59 \text{ (кг)}.$$

Визначаємо втрати відносно вихідного матеріалу на кожній операції. Розрахунки проводимо згідно формули:

$$\alpha_n(\beta_n) = \frac{\alpha_n(\beta_n) * \varphi_{n-1}}{100}.$$

Зворотні втрати

$$q_1^a = 0;$$

$$q_2^a = 0;$$

$$\alpha_3 = 0,3 * \frac{99,6}{100} = 0,298;$$

$$\alpha_4 = 0,2 * \frac{98,7}{100} = 0,296;$$

					ННn31.5419.4203.003.01ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

$$q_5^a=0;$$

$$q_6^a=0;$$

$$q_7^a=0.$$

Незворотні витрати

$$\beta_1=0,1 ;$$

$$\beta_2=0,3 * \frac{99,9}{100}=0,299 ;$$

$$\beta_3=0,6 * \frac{99,6}{100}=0,597;$$

$$\beta_4=0,1 * \frac{98,7}{100}=0,99;$$

$$\beta_5=1 * \frac{98,4}{100}=0,983;$$

$$\beta_6=0,5 * \frac{99,6}{100}=0,498;$$

$$\beta_7=0,1 * \frac{96,94}{100}=0,097.$$

Розрахуємо абсолютні витрати за формулою:

$$q_n^a(q_n^b)=\frac{A_0\alpha_n(\beta_n)}{100},$$

$$q_1^b=332,76 * \frac{0,1}{100}=0,333;$$

$$q_1^b=332,76 * \frac{0,299}{100}=0,995;$$

$$q_1^b=332,76 * \frac{0,597}{100}=1,998;$$

$$q_1^b=332,76 * \frac{0,99}{100}=3,294;$$

$$q_1^b=332,76 * \frac{0,983}{100}=3,271;$$

$$q_1^b=332,76 * \frac{0,498}{100}=1,657;$$

$$q_1^b=332,76 * \frac{0,097}{100}=0,323.$$

					<i>HHn31.5419.4203.003.01ПЗ</i>	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

Обрахуємо масу загальних витрат, та масу яка повинна надходити на початку процесу (С) за формулою:

$$C = A_0 - \sum q;$$
$$C = 343,59 - 332,73 = 10,86 \text{ (кг)}.$$

Визначаємо масу матеріалу, що надходить на кожну операцію і виходить з неї.

На першу операцію (Дозування):

- надходить: 343,59 кг;
- виходить: 343,25 кг;

На другу операцію (Змішування):

- надходить: 343,25 кг;
- виходить: 342,22 кг;

На третю операцію (Пресування):

- надходить: 342,22 кг;
- виходить: 339,12 кг;

На четверту операцію (Сушка):

- надходить: 339,12 кг;
- виходить: 338,13 кг;

На п'яту операцію (Спікання):

- надходить: 338,13 кг;
- виходить: 334,72 кг;

На шосту операцію (Механічна обробка):

- надходить: 334,72 кг;
- виходить: 333,05 кг;

На сьому операцію (Контроль якості):

- надходить: 333,05 кг;
- виходить: 332,72 кг;

Поопераційний матеріальний баланс наведено в таблиці 1.2

					ННп31.5419.4203.003.01ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.2 – Поопераційний матеріальний баланс

Назва операції	Поопераційні витрати, %			Пряме вилучення, %	Загальне вилучення, %	Втрати відносно введеного матеріалу, %		Абсолютні витрати, кг		Маса матеріалу, що надходить на операцію, кг			Маса матеріалу, що виходить з операції, кг
	зворотні	незворотні	загальні			зворотні	незворотні	зворотні	незворотні	з попередньої оп.	зворотні витрати	Всього	
Дозування	0	0,1	0,1	99,9	99,9	0	0,1	0	0,333	343,59	0	343,59	343,25
Змішування	0	0,3	0,3	99,7	99,6	0	0,299	0	0,995	343,25	0	343,25	342,22
Пресування	0,3	0,6	0,9	99,1	98,7	0,298	0,597	0,99	1,998	342,22	0,99	342,22	339,12
Сушка	0,2	0,1	0,3	99,7	98,41	0,296	0,99	0,98	3,294	339,12	0,98	339,12	338,13
Спінання	0	1	1	99	97,42	0	0,983	0	3,271	338,13	0	338,13	334,72
Механічна обробка	0	0,5	0,5	99,5	96,94	0	0,498	0	1,657	334,72	0	334,72	333,05
Контроль якості продукції	0	0,1	0,1	99,9	96,84	0	0,097	0	0,323	333,05	0	333,05	332,72

ННп31.5419.4203.003.01ПЗ

Арк.

34

Змн.

Арк.

№ доквм.

Підпис

Дата

1.4 Вибір і розрахунок кількості обладнання

1.4.1 Постановка вимог до вибору обладнання

Вибір обладнання для реалізації технологічного процесу ґрунтується на сукупності наведених нижче критеріїв:

1. Уніфікація та стандартизація. Перевага надається типовому устаткуванню, що дозволяє мінімізувати інвестиційні витрати, знизити собівартість ремонтних робіт та забезпечити взаємозамінність вузлів і деталей.

2. Технічна досконалість та інноваційність. Технічні засоби повинні відповідати актуальному рівню науково-технічного прогресу. Це передбачає забезпечення високої продуктивності при мінімізації залученого персоналу, зниження показників матеріало- та енергоємності, а також широкі можливості для автоматизації керування та регулювання технологічних параметрів.

3. Безпека експлуатації. Конструкція та умови роботи обладнання повинні безумовно відповідати чинним нормативам з охорони праці та техніки безпеки.

4. Резервування потужностей. Продуктивність допоміжних систем (транспортувальних механізмів, насосних станцій, вентиляційних установок) повинна перевищувати номінальні показники основного технологічного обладнання. Такий підхід створює необхідний експлуатаційний резерв для потенційної інтенсифікації виробництва та підвищення ефективності роботи основних агрегатів.

Під час розрахунків кількості обладнання кожного типу слід виходити з поопераційного балансу матеріалів технологічного процесу, з якого відомо кількість матеріалу, перероблюваного на цьому обладнанні.

1.4.2 Обладнання для змішування

На цій операції відбувається змішування порошку Al_2O_3 з розчином пластифікатора ПВС (2,5%) для отримання однорідної маси та подальшого пресування. Оскільки обсяги виробництва зросли, а технологія вимагає високої якості

					ННп31.5419.4203.003.01ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

розподілу зв'язки в об'ємі чистого оксиду алюмінію, використовуємо промисловий планетарний змішувач періодичної дії.

Його характеристики:

- робочий об'єм – 150 л;
- габаритні розміри – 1,4×0,9×1,2 м;
- потужність – 11 кВт;
- вартість – 150 тис. грн.

Необхідну кількість змішувачів визначаємо по формулі:

$$N = \frac{G_1}{P_m * T_m},$$

де G_1 – кількість матеріалу, що переробляється на операції змішування за добу, кг;

T_m – час роботи змішувача в добу, годин ($T_m=8$ год);

P_m – продуктивність змішувача, кг/год.

Продуктивність змішувача в нашому випадку визначаємо за формою:

$$P_m = \frac{G_3}{T_m},$$

де G_3 - маса одного завантаження в змішувач, кг;

T_m - технологічний час процесу змішування, 1 година;

Маса одного завантаження (G_3) залежить від робочого об'єму змішувача (V_m) та насипної щільності зволоженого порошку Al_2O_3 . Враховуючи робочий об'єм 150 л та коефіцієнт заповнення камери від 0,6 до 0,7, разове завантаження становить близько від 100 до 120 кг. Приймаємо розрахункове завантаження $G_3=100$ кг.

Кількість матеріалу, який надходить на операцію змішування згідно з матеріальним балансом: $G_1 = 612,9$ кг. Кількість годин роботи змішувача на добу $\tau=8$ год.

					ННп31.5419.4203.003.01ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

Необхідна кількість змішувачів:

$$N_p = \frac{343,25}{100 \cdot 8} = 0,429 \text{ шт.}$$

Коефіцієнт завантаження обладнання:

$$K_3 = \frac{0,429}{1} = 0,43 .$$

Отже, один промисловий змішувач повністю забезпечує добову потребу виробництва.

1.4.3 Обладнання для пресування

Згідно технологічного процесу ця операція призначена для ущільнення порошку чистого оксиду алюмінію з пластифікатором і набуття заданих розмірів та щільності заготовки. Передбачається пресування заготовок з площею перерізу 240 см² (рис. 1.7 г) і масою 0,713 кг. При цьому питомий тиск пресування приймаємо в межах від 50 до 100 МПа.

Щоб вибрати прес, визначаємо необхідне зусилля за формулою:

$$P = S \cdot p \cdot 1,25 ,$$

де S – площа пресування = 240 см²;

p – тиск пресування (беремо 60 МПа = 600 кгс/см² ≈ 6 кН/см²);

1,25 – коефіцієнт запасу

Тоді

$$P = 240 \cdot 6 \cdot 1,25 = 1800 \text{ кН.}$$

Вибираємо автоматичний гідравлічний прес, що забезпечує необхідне зусилля та підвищену продуктивність. Його характеристики:

					ННп31.5419.4203.003.01ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

- зусилля пресування – 2000 кН (200 тс);
- габаритні розміри – 1,8×3,5×4,5 м;
- потужність – 37 кВт;
- вартість – 300 тис. грн;
- кількість ходів – 3 ходи/хв.

Потрібну кількість пресів визначаємо за формулою:

$$N_{\text{пр}} = \frac{G}{K_{\text{пр}} * 60 * \tau} ,$$

де G – кількість заготовок, яку потрібно спресувати за добу;

$K_{\text{пр}}$ – кількість ходів (пресувань) за хвилину (3 ходи/хв);

τ – час роботи на добу (8 год).

Кількість заготовок розраховуємо виходячи з маси матеріалу, що надходить на операцію пресування (611,1 кг) та маси однієї заготовки (0,713 кг):

$$G = \frac{611,1}{0,713} = 857,08 \text{ (шт)} .$$

Тоді розрахункова кількість обладнання:

$$N_{\text{пр}} = \frac{857}{3 * 60 * 8} = 0,595 \text{ (шт)} .$$

Коефіцієнт завантаження обладнання:

$$K_3 = \frac{0,595}{1} \approx 0,6 .$$

Обраний прес повністю забезпечує виконання виробничої програми.

					ННп31.5419.4203.003.01ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

1.4.4 Обладнання для сушки виробів

Процес сушіння "сирих" пресованих заготовок необхідний для видалення вологи та полімеризації тимчасової зв'язки (ПВС) перед спіканням, щоб уникнути розтріскування виробів у печі.

Враховуючи серійний характер виробництва, замість камерних сушарок обираємо тунельну сушарку конвеєрного типу з комбінованим нагрівом (інфрачервоні випромінювачі + конвекція). Це забезпечує рівномірне прогрівання та високу швидкість процесу.

Характеристики обраної установки:

- тип: Конвеєрна інфрачервона сушарка;
- потужність – 25 кВт;
- робоча температура – регульована, до 180°C;
- швидкість руху стрічки – регульована, 0,2–2 м/хв;
- габаритні розміри (ДхШхВ) – 6,0×1,2×1,5 м;
- ширина стрічки – 800 мм;
- вартість – 250 тис. грн.

Розрахуємо необхідну продуктивність обладнання. Кількість заготовок, що надходить на сушку за добу (з урахуванням технологічного запасу):

$$N_{\text{ден}} = \frac{G}{m} = \frac{605,6}{0,713} \approx 850 \text{ шт.}$$

де G – маса матеріалу, що надходить на сушку (605,6 кг);

m – маса однієї заготовки (0,713 кг).

Необхідна годинна продуктивність лінії (при 8-годинній зміні):

$$P_{\text{потр}} = \frac{N_{\text{ден}}}{\tau} = \frac{850}{8} \approx 107 \text{ шт./год.}$$

					ННп31.5419.4203.003.01ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

Паспортна продуктивність обраної сушарки розраховується виходячи зі щільності укладання виробів на стрічці та швидкості сушіння. При ширині стрічки 800 мм та діаметрі виробу ~80 мм, в один ряд поміщається 8-9 виробів. При циклі сушіння 30-40 хв, установка здатна пропускати до 300 шт./год.

Розраховуємо коефіцієнт завантаження:

$$K_3 = \frac{P_{\text{потр}}}{P_{\text{паспорт}}} = \frac{107}{300} = 0,36 .$$

Коефіцієнт завантаження $K_3=0,36$ низький, він вказує на те, що установка має значний запас потужності, що дозволяє у майбутньому збільшити випуск продукції без закупівлі нового обладнання.

1.4.5 Обладнання для спікання

Для забезпечення технологічного процесу спікання високопористої кераміки з чистого оксиду алюмінію необхідно використовувати високотемпературні печі з робочою температурою не нижче 1650 °С. Враховуючи значний обсяг виробництва та необхідність тривалого циклу нагріву/охолодження для запобігання тріщинам, обираємо електричні печі з викатним подом. Тобто під наші вимоги підходить піч виробника Nabertherm СДО-15.10.12/17.

Характеристики обраної печі:

- тип: Високотемпературна піч з викатним подом;
- потужність – 180 кВт;
- максимальна температура – 1700 °С (робоча 1650 °С);
- нагрівачі – дисиліцид молібдену (MoSi_2);
- розміри робочої камери – 1,5×1,0×1,2 м (об'єм 1,8 м³);
- вартість – 900 тис. Грн.

Розрахуємо завантаження однієї печі. Деталі розміщуються на піддонах з вогнетривкого матеріалу (карбід кремнію) у кілька ярусів. Враховуючи розміри

					ННп31.5419.4203.003.01ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

робочого простору поду (1500×1000 мм) та діаметр деталі, на одному ярусі можна розмістити до 100 деталей. При встановленні етажерки у 5 ярусів, одноразове завантаження печі складає 500 деталей.

Маса одноразового завантаження:

$$M_{\text{зав}} = N * m_{\text{дет}} = 500 * 0,713 = 356,5 \text{ кг.}$$

Цикл спікання (нагрів, витримка, охолодження) для масивного завантаження чистого оксиду алюмінію становить 24 години (1 оборот печі на добу).

Отже, добова продуктивність однієї печі:

$$P = 356,5 \text{ кг/добу.}$$

Розрахуємо необхідну кількість печей. Кількість матеріалу, що надходить на спікання за добу (згідно з матеріальним балансом): $G_{\text{спік}} = 338,13 \text{ кг.}$

$$N_{\text{печей}} = \frac{G}{P} = \frac{338,13}{356,5} = 0,948.$$

Отже нам знадобиться приймні 2 печі.

Коефіцієнт завантаження обладнання:

$$K_3 = \frac{0,948}{2} = 0,475.$$

Обрана кількість печей (2 шт.) дозволяє забезпечити добову програму випуску з необхідним технологічним запасом.

1.4.6 Обладнання для механічної обробки

Операція механічної обробки спечених фільтроелементів є необхідною для забезпечення точних геометричних розмірів виробів та їх надійної герметизації у

					ННп31.5419.4203.003.01ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

посадкових вузлах фільтрувальних систем. Внаслідок природної усадки під час високотемпературного спікання виникають похибки форми, які усуваються шляхом шліфування торцевих та циліндричних поверхонь.

Оскільки спечений каркас із чистого оксиду алюмінію володіє надзвичайною твердістю, обробка здійснюється виключно шліфувальними кругами з природного або синтетичного алмазу на металевій чи бакелітовій зв'язці. Враховуючи високу пористість матеріалу (62,5%) та ризик утворення мікротріщин чи сколів, процес шліфування проводиться за високої швидкості різання, але з мінімальними зусиллями подачі. Щоб уникнути забруднення капілярної структури фільтрів мастильно-охолоджувальними рідинами, застосовується метод сухого шліфування з безперервним відведенням абразивного пилу через систему промислової аспірації.

Для серійного виробництва фільтрів типу «втулка» або «диск» доцільно використати універсальний круглошліфувальний верстат підвищеної точності (модель 3У10МА або сучасний аналог).

Для розрахунку кількості необхідного обладнання визначимо добову кількість виробів, що надходять на операцію механічної обробки. Згідно з розрахованим балансом матеріалів, на дану стадію щодоби надходить 334,72 кг спеченого матеріалу. Враховуючи, що маса одного готового виробу становить 0,713 кг, розрахункова добова кількість деталей ($G_{м.о}$) дорівнює:

$$G_{м.о} = \frac{334,72}{0,713} \approx 470 \text{ шт.}$$

Технологічний час на обробку однієї заготовки (встановлення, шліфування посадкових поверхонь, зняття деталі) приймаємо рівним $t_{цикл} = 0,8$ хв. Годинна продуктивність верстата ($P_{год}$) становитиме:

$$P_{год} = \frac{60}{t_{цикл}} = \frac{60}{0,8} = 75 \text{ шт./год.}$$

					ННп31.5419.4203.003.01ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

Необхідну кількість верстатів ($N_{\text{верс}}$) розраховуємо для однозмінного режиму роботи тривалістю $\tau = 8$ год:

$$N_{\text{верс}} = \frac{G_{\text{м.о}}}{P_{\text{год}} \cdot \tau} = \frac{470}{75 \cdot 8} = \frac{470}{600} \approx 0.783 .$$

Приймаємо до встановлення 1 верстат ($N_{\text{прийм}} = 1$). Розраховуємо коефіцієнт завантаження обладнання ($K_{\text{зав}}$):

$$K_{\text{зав}} = \frac{N_{\text{верс}}}{N_{\text{прийм}}} = \frac{0.783}{1} = 0.78 .$$

Коефіцієнт завантаження 0,78 є оптимальним для механічних цехів, оскільки залишає необхідний 22% резерв робочого часу для правки алмазного інструменту, переналагодження верстата та технічного обслуговування.

1.4.7 Обладнання для контролю якості виробів

З метою забезпечення належного контролю якості виготовленої продукції та точного визначення її ключових експлуатаційних характеристик, зокрема фільтрувальної здатності та пористості, у виробничому процесі передбачено застосування спеціалізованого аналітичного обладнання - Porometer 3G з сар. Відповідно до затвердженої методики випробувань, оцінка відповідності керамічних фільтрів технічним вимогам здійснюється вибіркоvim методом. Прийнятий регламентований обсяг однієї виробничої партії становить 25 одиниць готових виробів, з яких для проведення інструментального контролю формується репрезентативна вибірка у кількості двох зразків. Апарат здійснює перевірку фільтруючих властивостей зразків з обраної партії. Обладнання має такі характеристики:

- Габаритні розміри 0,6 x 0,5 x 0,85 м;
- Встановлена електрична потужність – 0,5 кВт;

					ННп31.5419.4203.003.01ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

– Продуктивність – 25 дослідів/год

Визначаємо кількість деталей, що піддаються перевірці протягом доби:

$$N = \left(\frac{N_d}{25}\right) * 2 = \left(\frac{467}{25}\right) = 37,36 \text{ шт. ,}$$

де N – кількість деталей, що піддаються перевірці протягом доби;

N_d –кількість деталей, що виготовляються протягом доби.

Розраховуємо необхідну кількість обладнання:

$$N_{об} = \frac{N}{(P * T_p)} = \frac{37,36}{(25 * 8)} = 0,19 ,$$

де T_p – час роботи однієї установки на добу;

P – продуктивність установки.

Приймаємо для контролю якості 1 установку.

1.4.8 План розміщення обладнання

Проектування просторового розміщення технологічного устаткування в межах виробничих об'єктів базується на комплексному підході до організації робочого середовища. Головним критерієм ефективного планування є забезпечення безперервного та раціонального потоку сировини, інформації і трудових ресурсів на всіх етапах виробничого циклу - від зони приймання матеріалів до ділянки зберігання готової продукції. З метою усунення часових затримок і скорочення логістичних маршрутів застосовується принцип функціонального групування обладнання. Максимізація використання корисної площі цеху досягається завдяки компактному розташуванню агрегатів та машин, що дозволяє суттєво зменшити міжопераційні відстані та загальний час на обробку деталей.

Поряд із технологічною доцільністю, фундаментальною вимогою до компоновальних рішень є дотримання норм охорони праці та ергономіки. Створення

					ННп31.5419.4203.003.01ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

безпечних умов передбачає усунення просторових перешкод у робочих зонах, забезпечення вільного доступу до вузлів керування обладнанням і мінімізацію фізичного навантаження на персонал. Крім того, просторова організація дільниці розробляється з урахуванням стратегічної перспективи: закладається резерв для майбутнього масштабування виробничих потужностей та модернізації ліній. Така гнучкість планування дозволяє підприємству оперативно адаптуватися до зростання обсягів випуску або впровадження інноваційних технологій без необхідності капітальної реорганізації існуючої інфраструктури.

					<i>HHn31.5419.4203.003.01ПЗ</i>	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

2 БУДІВЕЛЬНИЙ РОЗДІЛ

Проектна ділянка для будівництва цеху з виробництва високопористих керамічних фільтрів розташована на західній околиці Києва. Рельєф виділеної території є рівнинним, з переважанням супіщаних ґрунтів. Логістична інфраструктура об'єкта відзначається високим рівнем доступності завдяки близькості до магістральних транспортних шляхів, що забезпечує ефективне сполучення з усіма регіонами України. Наявність зручних під'їзних шляхів та наявних складських приміщень безпосередньо на території підприємства гарантує безперебійне постачання сировини та відвантаження готової продукції. До реалізації будівельних робіт планується залучити місцеві трудові ресурси.

Відповідно до нормативного районування, територія забудови належить до кліматичного району II В. Місцеві умови характеризуються помірним температурним режимом із середніми показниками січня на рівні $-3,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ та липня $-22,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, за річної кількості опадів 618 мм. Нормативна глибина промерзання ґрунту становить 0,8 м. Навантаження на несучі конструкції визначаються швидкісним натиском вітру (38 кг/м^2 , розрахункове вітрове навантаження $W_0 = 470\text{ кПа}$) та вагою снігового покриву (50 кг/м^2 , розрахункове снігове навантаження $S_0 = 1360\text{ кПа}$). Під час розрахунків також ураховується загальний аеродинамічний режим локації, зокрема середня швидкість повітряних мас і повторюваність напрямків вітру за румбами.

Генеральний план ділянки передбачає меридіональну орієнтацію виробничої будівлі - поздовжньою віссю на північ.

Транспортна схема території організована за кільцевим принципом із двома незалежними в'їздами та відокремленою мережею пішохідних комунікацій. Габарити промислового об'єкта, зумовлені запланованими обсягами випуску продукції, становлять 30×18 метрів у плані.

					ННn31.5419.4203.003.01ПЗ									
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата										
Розробив		Єрьомін В. О.			БУДІВЕЛЬНИЙ РОЗДІЛ					Літ.		Арк.	Акривів	
Перевірів		Наконечний С. О.											46	92
Реценз.														
Н. Контр.		Бірюкович Л. О.												
Затверд.		Богомол Ю. І.												
										КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. НН-n31				

Об'ємно-просторова структура будівлі базується на сітці колон із кроком 6 метрів та висотою до низу кроквяних конструкцій 6 метрів. Проектування здійснюється з обов'язковим урахуванням специфіки виробництва: технологічні процеси супроводжуються постійним впливом підвищених температур та інтенсивним виділенням дрібнодисперсного пилу, що вимагає впровадження відповідних інженерних та санітарних рішень.

					HHn31.5419.4203.003.01ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

3 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розрахунок нагрівачів печі для спікання

Визначальним критерієм під час вибору типу нагрівальних елементів є номінальна робоча температура печі. У межах даного дипломного проєкту розглядається камерна піч для спікання, робоча температура якої сягає 1700 °С. З огляду на такі жорсткі термічні умови, найбільш доцільним і технічно обґрунтованим є використання карборундових нагрівачів, оптимальна робоча температура яких становить 1650 °С.

Саме такий температурний режим нагрівачів дозволяє стабільно підтримувати необхідні умови в робочій камері. Питомий електричний опір карборунду за вказаної температури становить $\rho = 800 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$.

Проектування системи нагріву вимагає одночасного розрахунку кількості нагрівальних елементів та вибору оптимальної схеми їхнього підключення до електромережі. Зазвичай промислові печі опору живляться від мереж з напругою 220 В або 380 В. Використання напруги 500 В допускається лише як виняток для великогабаритних установок і вимагає дотримання посилених заходів техніки безпеки. У випадку використання стандартної трифазної мережі з лінійною напругою 380 В найбільш раціональним є з'єднання нагрівачів за схемою «зірка». Таке рішення дозволяє знизити робочу фазну напругу на окремих елементах до безпечнішого рівня ($U_{\phi} = 380 \sqrt{3} = 220 \text{ В}$), що суттєво мінімізує ризик пробою струму через ізоляційні матеріали печі, такі як шамот або азбестоцемент.

Для забезпечення розрахункової теплової потужності установки та збереження тривалого експлуатаційного ресурсу нагрівачів необхідно точно підібрати їхні геометричні параметри - довжину та площу поперечного перерізу. Електричний опір окремого стержня розраховується за класичною формулою:

					<i>ННn31.5419.4203.003.01ПЗ</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ</i>		
Розробив		Єрьомін В. О.					
Перевірів		Наконечний С. О.					
Реценз.							
Н. Контр.		Бірюкович Л. О.					
Затверд.		Богомол Ю. І.					
					Літ.	Арк.	Акривів
						48	92
					<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. НН-n31</i>		

$$R_{\text{ст}} = \frac{\rho \cdot L}{S},$$

де L – довжина нагрівача (стандартне значення для виробів Подільського заводу становить 400 мм),

d – діаметр стержня (25 мм),

S – площа його поперечного перерізу.

Відповідно, для подальших розрахунків площа поперечного перерізу стержня становить:

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 25^2}{4} = 490,6 \text{ мм}^2.$$

Електричний опір окремого стрижня становить:

$$R_{\text{ст}} = \frac{\rho \cdot L}{S} = \frac{800 \cdot 0,4}{490,6} = 0,6 \text{ Ом}.$$

Знаючи величину електричного опору, розраховується потужність одного нагрівального елемента та загальна кількість необхідних стрижнів для забезпечення необхідної потужності печі. Потужність окремого стрижня та фазна потужність обчислюються наступним чином:

$$P_{\text{ст}} = \frac{U_{\phi}^2}{R_{\text{ст}} \cdot 10^3} = \frac{220^2}{0,6 \cdot 10^3} = 0,37 \text{ кВт};$$

$$P_{\phi} = \frac{P_{\text{ном}}}{3} = \frac{50}{3} = 16 \text{ кВт}.$$

Відповідно, необхідна кількість нагрівачів становить:

$$N = \frac{P_{\phi}}{P_{\text{ст}}} = \frac{16}{0,37} = 42 \text{ шт.}$$

					ННп31.5419.4203.003.01ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

Важливим експлуатаційним параметром є поверхнева щільність теплового потоку, яка характеризує теплове навантаження на одиницю площі нагрівача. Питома поверхня стрижня та відповідний тепловий потік розраховуються за співвідношеннями:

$$S_{\pi} = \pi i \cdot d \cdot L \cdot 10 = 3,14 \cdot 2,5 \cdot 40 \cdot 10 = 3140 \text{ см}^2;$$

$$q = \frac{P_{\text{ст}} \cdot 10^3}{S_{\pi}} = \frac{0,37 \cdot 10^3}{3140} = 11,7 \text{ Вт/см}^2.$$

Обрані нагрівачі марки КЕН БС мають металізовані загострені кінці, виконані з матеріалу зі зниженим питомим опором, що усуває необхідність додаткового водяного охолодження контактної зони. У процесі експлуатації карборундові нагрівачі поступово збільшують свій електричний опір. Тому для підтримання стабільної потужності печі та забезпечення плавного розігріву (до 850 °С на зниженій напрузі) застосовується регульовальний трансформатор із діапазоном налаштування напруги від 0,3 до 2,0 номінальних значень.

3.2 Тепловий розрахунок

Для забезпечення ефективного режиму спікання високопористої кераміки складається тепловий баланс установки. Він враховує корисні витрати енергії на нагрівання заготовок, тепло на прогрів допоміжних деталей, а також теплові втрати протягом усього термічного циклу (нагрівання, витримка, охолодження та простій). Загальна енергія циклу описується рівнянням:

$$Q_{\text{ц}} = Q_{\text{кор}} + Q_{\text{доп}} + q_{\text{вт}} \cdot Z_{\text{ц}}.$$

Корисна теплова енергія, необхідна для нагрівання садки з чистого оксиду алюмінію масою 356,5 кг від початкової температури 20 °С до робочої температури печі 1650 °С, розраховується з урахуванням середньої теплоємності виробів 0,3

					ННп31.5419.4203.003.01ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

ккал/(кг·°С). Витрати на нагрівання допоміжних деталей масою 36 кг обчислюються аналогічно:

$$Q_{\text{кор}} = g_{\text{вир}} * C_{\text{вир}} * (t''_{\text{вир}} - t'_{\text{вир}}) = 356,5 * 0,3 * (1650 - 20) = 174328,5 \text{ ккал};$$

$$Q_{\text{доп}} = G_{\text{доп}} * C_{\text{доп}} * (t''_{\text{доп}} - t'_{\text{доп}}) = 36 * 0,3 * (1650 - 20) = 17604 \text{ ккал}.$$

Тривалість повного термічного циклу (нагрів, витримка, охолодження) становить 24 години. Вона складається з етапів нагрівання, технологічної витримки, охолодження, а також часу на завантаження та вивантаження деталей (розподіл часу адаптовано під 24-годинний цикл):

$$Z_{\text{ц}} = Z_{\text{нагр}} + Z_{\text{вит}} + Z_{\text{охол}} + Z_{\text{зав}} + Z_{\text{вив}} = 6 + 10 + 7 + 0,5 + 0,5 = 24 \text{ год}.$$

Кількість теплоти, яка має бути підведена в робочу камеру в період нагрівання, повинна повністю компенсувати енергію на нагрів садки та допоміжних деталей, а також перекрити всі теплові втрати під час охолодження та простою. Необхідна потужність печі визначається з урахуванням коефіцієнта запасу потужності (для пікового навантаження приймемо еквівалентний час активного максимального нагрівання $Z_{\text{нагр}}$ рівним 2 годинам):

$$P = \frac{(1,1 \dots 1,5) * Q_{\text{ц}}}{Z_{\text{нагр}} * 860} = 1,4 * \frac{201219,1}{2 * 860} = 163,8 \text{ кВт}.$$

					ННп31.5419.4203.003.01ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

4 РОЗДІЛ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів

У процесі виготовлення високопористих керамічних фільтрів з оксиду алюмінію на працівників комплексно впливає низка шкідливих і небезпечних виробничих факторів. За природою своєї дії на організм людини вони класифікуються на фізичні, хімічні та психофізіологічні. Враховуючи специфіку технології, яка поєднує високотемпературну обробку та механічні маніпуляції з дисперсними матеріалами, ідентифікація цих чинників є ключовою для розробки адекватних систем безпеки та захисту персоналу.

До групи шкідливих виробничих факторів належать передусім хімічні та фізичні впливи, що за умови тривалої дії здатні викликати професійні захворювання. Хімічний чинник проявляється у вигляді інтенсивного забруднення повітря робочої зони дрібнодисперсним мінеральним, а також абразивним пилом, який активно виділяється під час механічної обробки спечених виробів. Локалізація цього фактора вимагає обов'язкового застосування систем промислової аспірації та постійного контролю гранично допустимих концентрацій речовин у повітрі згідно з чинними санітарними нормами [25]. З-поміж фізичних факторів домінує несприятливий мікроклімат [17], спричинений потужним тепловим випромінюванням від промислових печей, робоча температура яких сягає 1700 °С. Крім того, експлуатація круглошліфувальних верстатів за високих швидкостей різання та робота автоматичних гідравлічних пресів генерують постійний технологічний шум і вібрацію.

Акустичне та вібраційне навантаження також потребує жорсткого нормування (у дБ та Гц відповідно) [24]. Додатковий вплив мають психофізіологічні фактори: обслуговування складного устаткування вимагає високої концентрації уваги, що зумовлює необхідність раціональної та ергономічної організації робочого простору [16, 17] для мінімізації фізичної та нервово-емоційної втоми операторів.

					<i>ННn31.5419.4203.003.01ПЗ</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>ОХОРОНА ПРАЦІ</i>		
Розробив		Єрьомін В. О.					
Перевірів		Наконечний С. О.					
Реценз.							
Н. Контр.		Бірюкович Л. О.					
Затверд.		Богомол Ю. І.			<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. НН-n31</i>		
					Літ.	Арк.	Архівнів
						52	92

Поряд із шкідливими чинниками, виробниче середовище характеризується наявністю небезпечних факторів, що створюють ризик раптового травмування. Провідне місце серед них посідає небезпека ураження електричним струмом. Промислові печі опору живляться від мереж з напругою 220 В або 380 В (детальна характеристика обладнання наведена в таблиці 4.1), що створює постійну загрозу пробом струму через ізоляційні матеріали у разі їх термічного пошкодження. Високий рівень ризику генерують термічні фактори: безпосередній контакт із нагрітими керамічними виробами або елементами печей з викатним подом може спричинити важкі опіки. Не менш значущим є механічний фактор, який зумовлений наявністю відкритих рухомих частин обладнання. Зокрема, функціонування гідравлічних пресів, що розвивають зусилля до 2000 кН, та робота обертових шліфувальних кругів із природного чи синтетичного алмазу вимагають неухильного дотримання регламентів техніки безпеки для запобігання механічним травмам.

Підбиваючи підсумки, досліджуваний технологічний процес відзначається високим рівнем потенційної небезпеки для здоров'я працівників. Наявність комплексу агресивних чинників безальтернативно вимагає впровадження сучасних інженерно-технічних рішень для усунення впливу ШНВФ, створення безпечних умов праці та забезпечення персоналу надійними засобами колективного й індивідуального захисту.

Таблиця 4.1 – Специфікація технологічного обладнання

№	Найменування (згідно з текстом)	Розміри Д/Ш/В, м	Основні характеристики	Кількіс ть, шт	Позиц ія на рисун ку
1	2	3	4	5	6
1	Дозатор	2,1 × 0,85 × 1,5	Не зазначено в тексті	Не зазначе но	1

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6
2	Промисловий планетарний змішувач	$1,4 \times 0,9 \times 1,2$	Потужність: 11 кВт Робочий об'єм: 150 л	1	2
3	Автоматичний гідравлічний прес (ДА-1534)	$1,8 \times 3,5 \times 4,5$	Потужність: 37 кВт Зусилля: 2000 кН Кіл. ходів: 3 ходи/хв	1	3
4	Конвеєрна інфрачервона сушарка	$6,0 \times 1,2 \times 1,5$	Потужність: 25 кВт Робоча темп.: до 180 °С Швидкість стрічки: 0,2-2 м/хв	1	4
5	Електрична піч з викатним подом (Nabertherm)	Роб. камера: $1,5 \times 1,0 \times 1,2$	Потужність: 180 кВт Робоча темп.: 1650 °С (макс. 1700 °С)	2	5
6	Круглошліфувальний верстат (ЗУ10МА)	$0,72 \times 0,39 \times 0,49$	Продуктивність: 75 шт./год	1	6
7	Обладнання для контролю якості (Porometer 3G zcap)	$0,6 \times 0,5 \times 0,85$	Потужність: 0,5 кВт Продуктивність: 25 дослідів/год	11	7

4.2 Інженерні рішення для забезпечення безпеки праці

4.2.1 Захист від пилу

Оскільки механічна обробка спеченого оксиду алюмінію проводиться виключно сухим методом для уникнення забруднення капілярної структури фільтрів мастильно-охолоджувальними рідинами, виникає інтенсивне пилоутворення. Для вирішення цієї проблеми на ділянці шліфування застосовується система місцевої промислової аспірації, що забезпечує безперервне відведення абразивного пилу безпосередньо від зони різання. Додатково у цеху передбачена загальнообмінна припливно-витяжна вентиляція з механічним спонуканням. Відповідно до вимог ДБН В.2.5-67:2013 [21], кратність повітрообміну розрахована на повну асиміляцію шкідливих виділень і становить не менше 3 обмінів за годину, що гарантує підтримання чистоти повітря робочої зони в межах допустимих санітарних норм.

4.2.2 Захист від теплового випромінювання і нагрітих поверхонь

Процес спікання відбувається за надзвичайно високих температур: робоча температура в печі сягає 1700 °C. З метою мінімізації ризику опіків персоналу обрано конструкцію високотемпературної електричної печі з викатним подом. Це дозволяє проводити завантаження та розвантаження етажерок із деталями поза межами гарячої камери, повністю усуваючи необхідність безпосереднього контакту робітників із розігрітим внутрішнім простором печі. Для дотримання санітарно-гігієнічних нормативів корпус печі оснащено багат шаровою теплоізоляцією на основі вогнетривких волокнистих матеріалів, що гарантує підтримання температури зовнішніх поверхонь обладнання на безпечному рівні - не більше 45 °C.

					ННп31.5419.4203.003.01ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

4.2.3 Безпека роботи з гідравлічним пресом

У технологічному процесі формування виробів застосовується автоматичний гідравлічний прес, який генерує значне робоче зусилля і, відповідно, є джерелом підвищеної механічної небезпеки. З метою мінімізації виробничого травматизму експлуатація цього устаткування вимагає впровадження суворого комплексу інженерно-апаратних рішень. Насамперед робоча зона преса оснащується міцними захисними екранами, що унеможливлюють випадковий контакт персоналу з рухомими елементами (повзуном, пуансоном) та блокують розліт уламків у разі ймовірного руйнування оснащення чи самої керамічної заготовки. Базовою вимогою безпеки є наявність системи електромеханічного або сенсорного блокування: робочий цикл апаратно неможливо розпочати, якщо дверцята огороження відкриті. Для гарантованого захисту рук оператора під час робочого ходу механізму застосовується система дворучного пуску (яка вимагає одночасного натискання кнопок обома руками) або сучасна оптоелектронна світлова завіса, що миттєво зупиняє прес при перетині захисних променів. Крім того, на випадок будь-яких нештатних ситуацій панель керування обов'язково обладнується чітко маркованою кнопкою аварійної зупинки, натискання якої забезпечує негайне припинення руху та скидання робочого тиску в гідросистемі.

Поряд із технічним оснащенням, критично важливу роль відіграє суворе дотримання технологічної дисципліни та організаційних заходів безпеки. Перед початком формування кожної нової партії деталей здійснюється обов'язковий технічний контроль: перевіряється надійність кріплення матриці та пуансона, їхня ідеальна співвісність, а також цілісність усіх елементів оснащення, що дозволяє попередити перекоси чи заклинювання під дією високого тиску. Фундаментальним правилом безпеки є абсолютна заборона на проведення будь-яких ручних маніпуляцій - очищення прес-форми, завантаження шихти, вилучення готових виробів чи регулювання механізмів - до моменту повної зупинки рухомих частин та підтвердженого зняття тиску. З огляду на рівень відповідальності, до самостійного керування гідравлічним пресом допускається виключно кваліфікований персонал,

					ННп31.5419.4203.003.01ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

який пройшов спеціалізоване навчання, успішно підтвердив свої знання та отримав цільовий інструктаж з охорони праці безпосередньо на робочому місці.

4.2.4 Електробезпека

Зважаючи на наявність у виробничому циклі високопотужного електроустаткування (зокрема електричних печей потужністю 180 кВт, автоматичних гідравлічних пресів та планетарних змішувачів), проектування надійної системи захисту від ураження електричним струмом є фундаментальною вимогою охорони праці. Для мінімізації ризиків аварійних ситуацій та гарантування безпеки персоналу впроваджується наступний комплекс інженерно-технічних та організаційних заходів:

Облаштування захисного заземлення: Усі металеві неструмопровідні деталі обладнання (корпуси печей, пресів, змішувачів, каркаси пультів керування та електрошкаф), які за умови пошкодження ізоляції можуть опинитися під напругою, підлягають обов'язковому підключенню до захисного контуру заземлення. Відповідно до Правил улаштування електроустановок [21], опір заземлювального пристрою незалежно від сезону не повинен перевищувати 4 Ом, що гарантовано знижує потенціал на корпусі до безпечних значень.

Системи автоматичного відключення живлення: електричні мережі та струмоприймачі цеху комплектуються сучасною апаратурою захисту - автоматичними вимикачами, плавкими запобіжниками та пристроями захисного відключення (ПЗВ). Це обладнання забезпечує миттєве знеструмлення аварійної ділянки ланцюга у разі виникнення струмів короткого замикання, критичних перевантажень або струмів витоку на землю.

Контроль цілісності ізоляції: стан ізоляційного покриття силових кабелів, проводів живлення та карборундових нагрівачів підлягає безперервному апаратному та періодичному інструментальному контролю. Нормований опір ізоляції електричних кіл становить не менше 0,5 МОм. У високотемпературних зонах печей застосовуються виключно спеціалізовані термостійкі матеріали, що не піддаються деструкції під час термічних циклів.

					ННп31.5419.4203.003.01ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

Ізоляція комутаційної апаратури: усі елементи схем керування, реле та запобіжники монтуються у закритих силових електрошафах із належним ступенем захисту від проникнення дрібнодисперсного пилю та вологи. Дверцята шаф постійно замикаються на спеціальний апаратний ключ, а на їхні лицьові панелі наноситься стандартизоване попереджувальне маркування («Обережно! Електрична напруга») із зазначенням класу напруги.

Обмежений допуск персоналу: до виконання робіт із монтажу, налагодження, ремонту та обслуговування електроустановок допускаються виключно особи, які пройшли медичний огляд, фахове навчання та успішно склали іспит на знання правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів, маючи кваліфікаційну групу з електробезпеки не нижче III.

Планово-попереджувальні огляди: згідно із затвердженим графіком, проводяться регулярні візуальні та інструментальні ревізії елементів енергогосподарства. Окремо контролюється надійність контактних з'єднань у клемних колодках, відсутність ознак термічної деструкції чи окислення провідників, а також безвідмовність органів керування на пультах операторів.

Заборона експлуатації дефектного обладнання: категорично забороняється робота технологічних агрегатів за наявності видимих пошкоджень ізоляції (тріщин, зламів силових кабелів) або оголених струмопровідних частин. У разі виявлення таких дефектів обладнання негайно знеструмлюється, на пускових апаратах розміщується заборонний плакат «Не вмикати!», а експлуатація призупиняється до повного усунення несправностей кваліфікованим електротехнічним персоналом.

4.2.5 Організація робочих місць і планування дільниці

Раціональна просторова організація виробничої дільниці та ергономічне планування робочих місць є фундаментальними передумовами для гарантування безпеки праці, мінімізації виробничого травматизму та оптимізації технологічних процесів. Оскільки специфіка виробництва пов'язана з інтенсивним утворенням дрібнодисперсного пилю та генерацією значних теплових випромінювань, в основу планування закладено принцип суворого функціонального зонування. Ділянки

					<i>ННп31.5419.4203.003.01ПЗ</i>	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

приготування шихти, пресування та сухого алмазного шліфування, що є первинними джерелами пилоутворення, просторово відокремлені від зони високотемпературного спікання та складських приміщень. Подібне розмежування площ локалізує небезпечні чинники, запобігає їх перехресному впливу на працівників і максимізує ефективність експлуатації промислової вентиляції та аспірації.

Окрім структурного зонування, комплексний підхід до охорони праці на дільниці реалізується через візуальну ідентифікацію загроз та підтримання належного стану маршрутів пересування. Устаткування з підвищеним рівнем експлуатаційного ризику - зокрема зони дії пуансонів гідравлічних пресів, обертання шліфувальних кругів верстатів та траєкторії руху поду випалювальних печей - в обов'язковому порядку виділяється зносостійкою сигнальною жовто-чорною розміткою на підлозі та комплектується регламентованими знаками безпеки. Інженерне планування робочого простору також гарантує пряму видимість та миттєвий доступ до протиаварійних систем: кнопок екстреної зупинки обладнання, головних рубильників, елементів керування аспірацією та засобів первинного пожежогашіння.

Усі шляхи евакуації спроектовані з урахуванням вимог щодо безперешкодного виходу персоналу в разі виникнення надзвичайних ситуацій. Для підтримання безпечного середовища діє сувора заборона на будь-яке, навіть тимчасове, захащення евакуаційних проходів та підходів до аварійних систем технологічною тарою, відходами виробництва, браком чи готовими виробами впродовж усієї робочої зміни.

4.2.6 Засоби індивідуального захисту

Зважаючи на те, що інженерні засоби колективного захисту, зокрема системи вентиляції та промислової аспірації, не здатні стовідсотково нівелювати вплив шкідливих виробничих факторів, невід'ємною умовою безпеки праці під час виготовлення керамічних фільтрів є застосування засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) [18]. Оскільки технологічний процес супроводжується значним пилоутворенням, пріоритетним завданням є захист дихальних шляхів персоналу. Виконання базових операцій із дозування, змішування та пресування сировини

					<i>ННп31.5419.4203.003.01ПЗ</i>	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

вимагає обов'язкового використання респіраторів стандарту не нижче FFP2. Водночас для робіт, що характеризуються інтенсивною емісією дрібнодисперсних часток, таких як сухе алмазне шліфування чи технічне обслуговування аспіраційних установок, передбачено застосування респіраторів найвищого класу захисту (FFP3).

Окрім респіраторних загроз, виробниче середовище вимагає комплексного захисту шкірного покриву та кінцівок від механічних і термічних уражень. Працівники цеху забезпечуються спецодягом із щільних матеріалів, який мінімізує ризик мікротравм та перешкоджає осіданню корундового пилу на тіло. Захист рук диференціюється залежно від характеру маніпуляцій: транспортування заготовок та обслуговування пресів виконується у зносостійких рукавицях із полімерним чи нітриловим покриттям, тоді як робота в зоні високотемпературних печей потребує спеціалізованих термостійких засобів, здатних попередити контактні та конвективні опіки. Для нейтралізації ризику травмування стоп внаслідок можливого падіння важких предметів (зокрема деталей прес-форм) використовується спецвзуття з неслизькою підошвою та посиленням композитним або металевим підноском.

Окрему увагу в системі охорони праці приділено захисту органів зору та слуху, які піддаються впливу специфічних факторів під час механічної обробки матеріалів та експлуатації потужного устаткування. З метою запобігання ураженню очей абразивними частинками чи мікроуламками крихкої кераміки під час шліфування, регламентовано носіння закритих захисних окулярів або повнолицьових щитків. Крім того, функціонування шліфувальних верстатів і вентиляторів систем аспірації здатне генерувати акустичне навантаження, що перевищує гранично допустимі 80 дБА. За таких умов праця на відповідних робочих місцях дозволяється виключно із застосуванням засобів індивідуального захисту органів слуху, до яких належать протишумові навушники або анатомічні вкладиші.

4.3 Розрахунок інженерного рішення

У даному розділі буде проведено розрахунок місцевої аспірації для ділянки сухого алмазного шліфування керамічних фільтрів, оскільки механічна обробка спеченого каркасу з чистого оксиду алюмінію проводиться виключно сухим методом.

					ННп31.5419.4203.003.01ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

Цей етап створює найвищий ризик інтенсивного виділення дрібнодисперсного мінерального та абразивного пилу безпосередньо в зоні дихання оператора. Ця технологічна операція виконується на круглошліфувальному верстаті моделі ЗУ10МА.

4.3.1. Визначення вихідних даних для розрахунку

Для ефективної локалізації пилоутворення конструктивно приймаємо місцеве укриття у вигляді частково закритого пилоприймального кожуха шліфувального круга з відкритим робочим прорізом. Враховуючи, що діаметр оброблюваного керамічного фільтра (типу «втулка» або «диск») становить приблизно 80 мм, а також зважаючи на габарити алмазного круга та необхідність вільного доступу для встановлення деталі, задаємо розміри відкритого прорізу кожуха: ширина прорізу $a = 0,30$ м; висота прорізу $b = 0,20$ м. Згідно з санітарно-гігієнічними нормами для відведення важкого мінерального та абразивного пилу, швидкість всмоктування повітря у відкритому прорізі приймаємо на рівні $v = 3,0$ м/с. Швидкість руху повітря в повітропроводі (швидкість транспортування) для сухого пилу корунду повинна бути високою для запобігання його осіданню на стінках, тому приймаємо $w = 18,0$ м/с.

4.3.2. Розрахункова частина

Розрахуємо площу відкритого робочого прорізу аспіраційного кожуха за формулою:

$$F = a \cdot b;$$

$$F = 0,30 \cdot 0,20 = 0,06 \text{ м}^2.$$

Розрахуємо об'ємну витрату повітря відповідно до формули:

$$L = 3600 \cdot F \cdot v;$$

$$L = 3600 \cdot 0,06 \cdot 3,0 = 648 \text{ м}^3/\text{год}.$$

					<i>ННп31.5419.4203.003.01ПЗ</i>	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

Розрахуємо площу перерізу повітропроводу:

$$S = \frac{L}{3600 \cdot w};$$
$$S = \frac{648}{3600 \cdot 18,0} = 0,01 \text{ М}^2.$$

Орієнтовний діаметр круглого повітропроводу:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}};$$
$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,01}{3,1415}} = \sqrt{0,0127} \approx 0,113 \text{ М}.$$

4.3.3. Вимоги до очищення повітря та експлуатації системи

Оскільки під час механічної обробки корунду утворюється високоабразивний пил, очищення витяжного повітря доцільно виконувати промислову фільтрувальну установці, яка безпосередньо призначена для роботи з дрібнодисперсним мінеральним пилом.

Категорично заборонено викидати неочищене аспіраційне повітря назад у робочу зону цеху або в атмосферне середовище; очищення має проводитися до рівня гранично допустимих концентрацій згідно з санітарними нормами. Для забезпечення максимальної безпеки праці, система промислової аспірації має функціонувати за чітким алгоритмом: вона повинна автоматично вмикатися до початку операції шліфування і продовжувати працювати ще протягом 3-5 хвилин після повного завершення технологічного процесу верстатом. Це гарантуватиме повне видалення залишкового суспендованого пилу з повітропроводів та укриття кожуха.

					ННп31.5419.4203.003.01ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

4.4 Пожежна безпека

У цьому підрозділі розглянуто основні пожежні ризики, пов'язані з технологічним процесом виготовлення високопористих керамічних фільтрів, та комплекс заходів для їх запобігання [14].

4.4.1 Джерела пожежної небезпеки

Хоча основною сировиною є оксид алюмінію, який відзначається хімічною інертністю та високою вогнетривкістю, у процесі виробництва присутні фактори, що створюють пожежну небезпеку:

- органічний пороутворювач: використання кукурудзяного крохмалю, частка якого становить близько 39% від маси сухої шихти.
- пластифікатор: застосування полівінілового спирту (ПВС).
- пилові відкладення: інтенсивне утворення та осідання дрібнодисперсного пилю на технологічному обладнанні та будівельних конструкціях цеху (габарити будівлі становлять 30×18 метрів, висота – 6 метрів).
- термічне обладнання: експлуатація конвеєрної інфрачервоної сушарки з робочою температурою до 180°C та електричних печей із викатним подом Nabertherm, де температура сягає 1700°C.

Електрообладнання великої потужності: функціонування енергоємного устаткування, зокрема печей потужністю 180 кВт кожна та гідравлічного преса на 37 кВт.

Кабельні лінії: ризик короткого замикання або перегріву струмопровідних частин внаслідок термічної деструкції чи пошкодження ізоляції.

Матеріали: зберігання горючої тари та пакувальних матеріалів на території ділянки.

					ННп31.5419.4203.003.01ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

4.4.2 Протипожежні заходи

Система протипожежного захисту виробничого цеху базується на комплексному превентивному підході до мінімізації ризиків займання, де першочергова увага приділяється безпеці експлуатації електроустаткування. Запобігання аварійним ситуаціям в електромережах реалізується шляхом інтеграції апаратних засобів захисту, зокрема автоматичних вимикачів та пристроїв захисного відключення (ПЗВ), що нівелюють наслідки перевантажень і коротких замикань.

Сама комутаційна апаратура та електропроводка монтуються у спеціалізованих закритих шафах із високим ступенем ізоляції від виробничого пилу та вологи. Додатковим і суворо обов'язковим заходом електробезпеки є підключення всіх металевих неструмоведучих частин технологічного обладнання до єдиного контуру захисного заземлення, нормативний опір якого не повинен перевищувати 4 Ом.

З огляду на специфіку технологічного процесу, що передбачає використання горючих органічних компонентів, критично важливим аспектом пожежної безпеки є контроль за станом виробничого середовища та умовами зберігання сировини. Для унеможливлення накопичення пожежонебезпечних пилових відкладень передбачено безперебійне функціонування систем промислової аспірації у поєднанні з графіком регулярного прибирання робочих зон. Складування органічних зв'язуючих і пороутворювачів (зокрема полівінілового спирту та кукурудзяного крохмалю) регламентовано виключно у закритій тарі в межах ізольованих сухих приміщень. З метою запобігання термічному запалюванню діє категорична заборона на розміщення або тимчасове накопичення будь-яких горючих речовин у безпосередній близькості до нагрівальних елементів сушильних агрегатів та високотемпературних печей.

Організаційно-технічна складова ліквідації надзвичайних ситуацій охоплює оснащення дільниці засобами оперативного реагування та постійну підготовку персоналу. Виробничі площі обладнуються системами автоматичної пожежної сигналізації, які підлягають плановому технічному обслуговуванню, а також укомплектовуються первинними засобами пожежогасіння – порошковими та вуглекислотними вогнегасниками, розміщеними в зонах прямої доступності.

					ННп31.5419.4203.003.01ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

Архітектурно-планувальні рішення цеху вимагають постійного підтримання вільного простору на шляхах евакуації; будь-яке захаращення цих маршрутів технологічною тарою чи готовою продукцією є неприпустимим. Фундаментом пожежної безпеки є систематична робота з колективом: проведення регулярних інструктажів, перевірка знань з охорони праці та практичне відпрацювання алгоритмів поведінки під час пожежі, включно з навичками миттєвого знестримлення устаткування за допомогою кнопок аварійної зупинки.

4.4.3 Категорія приміщення

Основна сировина виробництва - оксид алюмінію (Al_2O_3) - негорюча речовина, тому базовий технологічний процес не є пожежонебезпечним. Однак наявність у складі органічних горючих добавок (39% крохмалю), утворення пилу та експлуатація високотемпературних електропечей і сушарок вимагають суворого дотримання протипожежних норм.

Загальна площа цеху становить 864 м². Остаточна категорія приміщення за вибухопожежною та пожежною небезпекою визначається відповідно до чинних ДБН і ДСТУ [21] на основі розрахунку питомого пожежного навантаження. Цей розрахунок має враховувати точну масу всіх горючих речовин на ділянці (ПВС, крохмалю, пакувальної тари), дисперсність пилу та режим роботи обладнання. Попередньо, враховуючи перелічені фактори, приміщення відноситься до категорії В (пожежонебезпечне), що вимагає повної реалізації передбачених інженерних та організаційних протипожежних заходів.

					<i>ННп31.5419.4203.003.01ПЗ</i>	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

5 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

5.1 Розрахунок чисельності виробничих робітників

Методи розрахунку передбачуваної кількості робітників окремих категорій визначаються специфікою їх праці та особливостями галузі функціонування підприємства. Кількість робочих, зайнятих на стандартизованих роботах (Ч) рахуємо за формулою:

$$\text{Ч} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i \cdot m_i}{T_{\text{р.ч}} \cdot K_{\text{в.н}}},$$

де n – кількість найменувань продукції;

t_i – планова трудомісткість одиниці i -го виду продукції, нормо-годин;

m_i – кількість продукції i -го виду, одиниць;

$T_{\text{р.ч}}$ – розрахунковий ефективний час роботи одного робітника, год.;

$K_{\text{в.н}}$ – очікуваний коефіцієнт виконання норми (1,0 – 1,5).

Кількість основних робітників, задіяних на нестандартизованих роботах ($\text{Ч}_{\text{ор}}$) (контроль технологічного процесу, керування апаратами, машинами та іншим устаткуванням), розраховують:

$$\text{Ч}_{\text{ор}} = \frac{m_0 \cdot \text{П}_3 \cdot K_{\text{п}}}{H_0},$$

де m_0 – кількість обслуговуваних об'єктів;

П_3 – кількість робочих змін протягом доби;

$K_{\text{п}}$ – коефіцієнт переведення явочної чисельності в облікову;

H_0 – норма обслуговування (кількість одиниць обладнання, що обслуговує один працівник).

					ННn31.5419.4203.003.01ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ОРГАНІЗАЦІЙНО- ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ		
Розробив		Єр'юмін В. О.					
Перевірів		Наконечний С. О.					
Реценз.							
Н. Контр.		Бірюкович Л. О.					
Затверд.		Богомол Ю. І.					
					Літ.	Арк.	Архівів
						66	92
					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. НН-n31		

В таблиці 5.1 розраховано та приведено баланс робочого часу усередньооблікового працівника.

Таблиця 5.1 – Баланс робочого часу середньооблікового працівника

Показник	Планове значення
Кількість календарних днів	365
Вихідні та святкові дні	125
Час на планово-попереджувальний ремонт, днів	12
Номінальний фонд робочого часу, днів	240
Невиходи на роботу, днів з них:	30
- відпустка	24
- захворювання	4
- дозволені законом	1
- з дозволу адміністрації	1
- цілодобові простої	0
Явочний робочий час, днів	200
Середня тривалість робочого дня, год	7,9
Внутрішньозмінні втрати робочого часу та простої, год	0,3
Робочі години	7,6
Плановий фонд робочого часу за рік, год	1520

Коефіцієнт переведення явочної чисельності в облікову розраховується за формулою:

$$K_p = \frac{100}{(100-k)},$$

де k – плановий процент невиходів на роботу (за даними табл. 5.1)

$$K_p = \frac{100}{(100-12,5)} = 1,14 .$$

Таблиця 5.2 – Чисельність основних і допоміжних робітників цеху

Професія та спеціальність	Розряд	Явочна чисельність(по змінах)			Загалом на добу	Коефіцієнт переведення явочної чисельності в облікову	Облікова чисельність
Основні робітники							
Оператор змішувача, сушильної шафи, контроль якості продукції	3	1-а	2-а		2	1,14	3
Спікальнік	5	1	2	2	6	1,14	7
Пресувальник	3	4	2	2	6	1,14	7
	9	9	4	20			17
Допоміжні робітники							
Наладчик	5	1		-	1	1,14	2
Черговий слюсар-електрик	5	1		-	1	1,14	2
Транспортувальник-вантажник	2	1		-	1	1,14	2
	3		-	3			
	11	9	4				23

5.2 Визначення фонду заробітної плати

Витрати на оплату праці становлять одну з ключових статей формування собівартості продукції. Структурно цей елемент фонду оплати праці поділяється на три базові складові: основну, додаткову заробітну плату, а також систему інших заохочувальних і компенсаційних виплат. Основна заробітна плата розглядається як

гарантована винагорода працівнику за виконання визначеного обсягу робіт чи посадових обов'язків у межах встановлених норм праці, зокрема норм часу, виробітку чи обслуговування. Натомість додаткова заробітна плата є формою матеріального стимулювання за працю, що перевищує регламентовані нормативи, а також за специфічні умови роботи, професійні досягнення або винахідництво. Вона реалізується через систему доплат, надбавок та виробничих премій. Крім того, загальна структура винагороди включає інші заохочувальні та компенсаційні виплати, до яких належать річні бонуси за підсумками роботи, преміювання за спеціальними положеннями, а також додаткові матеріальні компенсації, що не є обов'язковими згідно з чинним законодавством, але передбачені внутрішньою політикою підприємства.

Організація системи оплати праці на практиці базується на поєднанні механізмів державного та договірної регулювання її абсолютних розмірів, що дозволяє формувати обґрунтований рівень індивідуальної винагороди для кожної категорії персоналу – від робітників та фахівців до службовців і керівного складу. Фундаментальним організаційно-правовим інструментом, який забезпечує справедливу диференціацію заробітної плати на підприємствах різних форм господарювання, виступає тарифно-посадова система. Її структурна база спирається на використання тарифно-кваліфікаційних довідників, кваліфікаційних характеристик посад, тарифних сіток і ставок, а також схем посадових окладів або єдиної тарифної сітки. Як приклад практичного застосування цього інструментарію, типова тарифна сітка робітників для підприємств та організацій різних галузей економіки України наведена в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Типова тарифна сітка робітників різногалузевих підприємств та організацій

Показники	Тарифні розряди							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Тарифні коефіцієнти	1,0	1,088	1,204	1,350	1,531	1,8	1,892	2,0

Продовження таблиці 5.3

Зростання тарифних коефіцієнтів	Абсолютне	0,088	0,116	0,146	0,181	0,269	0,092	0,108
	Відносне	8,8	10,7	12,1	13,4	17,6	5,1	5,7

Практичне застосування цього інструментарію та алгоритм обчислення загальних витрат на персонал деталізовано у відповідних аналітичних формах роботи. Зокрема, у таблиці 5.4 наведено покроковий приклад розрахунку фонду заробітної плати для управлінського та обслуговуючого апарату підприємства. Своєю чергою, специфіка формування аналогічного фонду для категорій основних і допоміжних робітників, чия діяльність безпосередньо пов'язана з виробничим процесом, систематизована та відображена у таблиці 5.5.

Таблиця 5.4 – Розрахунок фонду заробітної плати управлінського та обслуговуючого персоналу

Штатна посада	Чисельність, осіб	Місячний посадовий оклад, грн	Річний фонд заробітної плати, грн
Керівник			
Начальник цеху	1	11000	132000
Майстер	2	8500	204000
Разом	3		336000
Спеціалісти			
Провідний інженер-технолог	1	7500	90000
Разом	1		90000
Службові та молодший обслуговуючий персонал			
Обліковець	1	5000	60000
Прибиральник	1	4000	48000
Комірник	1	4500	54000
Разом	3		162000
Усього	6		600000

Відповідно до тарифної сітки розраховано фонди заробітної плати основних і допоміжних працівників. Розрахунки приведені в таблиці 5.5

Таблиця 5.5 – Розрахунок фонду заробітної плати основних і допоміжних робітників

Професія, спеціальність	Кваліфікаційний розряд	Годинна тарифна ставка, грн.	Обліковий склад, осіб	Кількість годин роботи за рік		Основна заробітна плата, тис. грн. (3×6)	Розрахунок додаткової заробітної плати, тис. грн					Загальний фонд заробітної плати, тис. грн. (7+12)
				Одного робітника	Усіх		Надбавки та доплати					
							Премії (15% від основної заробітної плати)	За роботу в особливих умовах (5%)	Оплата відпусток (10%)	Інші доплати та надбавки (5%)	Разом (8+9+10+11)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Основні (технологічні) робітники												
Оператор змішувача, сушильної шафи, контролю якості продукції	3	34,1	3	1520	4506	153,654	23,05	7,68	19,529	9,764	67,35	263,64
	5	43,34	6	1520	9120	395,26	59,289	19,76	39,52	19,76	138,33	533,59
	6	50,96	6	1520	9120	464,75	69,71	23,24	46,78	23,24	162,97	627,7
	4	38,72	8	1520	12160	470,83	70,62	23,54	47,08	23,54	164,78	635,61
Разом						1484,49					653,7	2060,54
Допоміжні (обслуговуючі) робітники												
Наладчик	6	50,96	3	1520	4788	244	36,6	12,2	24,4	12,2	85,4	329,4
Черговий слюсар-електрик	5	43,34	3	1520	4788	207,5	31,1	10,4	20,8	10,4	72,7	280,2
Вантажник	2	30,8	3	1520	4788	147,5	22,13	7,4	14,8	7,4	51,7	199,2
Разом						599					209,8	808,8
Усього по цеху (виробничій дільниці)						2083,49						2869,34

5.3 Розрахунок продуктивності праці

Продуктивність праці розраховується як відношення річного виробництва до облікового складу всіх робітників цеху. Таким чином, продуктивність праці (П) – це річний об'єм продукції, виготовленої в розрахунок на одного робітника цеху.

$$П = \frac{G}{(\Sigma\text{ч})};$$

$$П = 8320/31 = 268,39 \text{ кг/особу},$$

де G – обсяг продукції, виготовленої цехом за рік, кг;

$\Sigma\text{ч}$ – чисельність працівників усіх категорій (робітників, управлінського та обслуговуючого персоналу).

5.4 Розрахунок капітальних вкладень

Розрахунок капітальних вкладень у виробничий фонд цеху передбачає підрахунок ресурсів необхідних для двох ключових напрямків: інвестиції в основні засоби та капіталізацію нормованих оборотних коштів. До основних засобів належать витрати на придбання технологічного устаткування, транспортних засобів, виробничого інвентарю та спеціалізованого оснащення, а також фінансування супутніх будівельно-монтажних робіт. В свою чергу, нормовані оборотні засоби спрямовуються на створення необхідних складських запасів матеріалів, малоцінного та швидкозношуваного інструменту, а також запасних частин, які забезпечуватимуть поточний ремонт і технічне обслуговування обладнання.

При обчисленні сукупного обсягу капітальних витрат супутні видатки на транспортування, монтаж та пусконаладжувальні роботи устаткування визначено за нормативним підходом у розмірі 10% від його відпускної ціни. Повний розрахунок зазначених капітальних вкладень у розрізі конкретних видів технологічного обладнання систематизовано й представлено в таблиці 5.6.

					ННп31.5419.4203.003.01ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.6 – Розрахунок капітальних витрат на обладнання

Найменування устаткування (модель)	Кількість, одиниць	Вартість за одиницю, тис. грн	Загальна вартість, тис.грн	Витрати на транспортування та монтаж, тис.грн	Усього, тис.грн
Шнековий змішувач	2	7	14	1,4	15,4
Прес	1	40	40	4	44
Піч Nabertherm	1	800	800	80	880
ІЧ сушильна шафа	1	15	15	1,5	16,5
Обладнання для контролю якості	1	4	4	0,4	4,4
Шліфувальний станок	1	14	14	1,4	15,4
Шліфувальне устаткування	5	5	25	2,5	27,5
Електроштаблер	2	25	50	5	55
Ваги РП-230 Ц 15	2	10	20	2	22
Загальна вартість на виробничу ділянку					1080,2

Капітальні вкладення в Промислові будівлі і споруди визначаються на основі середнього стандарту обсягу ділянки і вартості будівельних конструкцій і промислової розводки.

Ми визначаємо капітальні вкладення в будівництво підприємства розмірами 30x18, висотою стелі 6 м. Капітальні вкладення в будівельно-монтажні роботи визначаються виходячи з площі та обсягу ділянки, а також стандартної вартості будівельно-санітарних робіт на 1 м будівлі. Також необхідно враховувати вартість будівництва фундаменту і обладнання ділянки. Розрахунки капітальних вкладень

					<i>ННп31.5419.4203.003.01ПЗ</i>	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

(враховуючи середні ринкові ціни на елементи будівельно-монтажних робіт) на будівництво цеху приведені в таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 – Розрахунки капітальних вкладень на будівництво цеху

Елементи капітальних вкладень	Площа будівлі, м ³	Вартість	
		Одиниці, грн	Загальна, тис.грн
1. Виробничі приміщення	884	600	530
1.1 Водопостачання		5,0	4,4
1.2 Каналізація		3,0	2,7
1.3 Електропроводка		6,0	5,3
1.4 Вентиляція		7,0	6,2
Всього			557,6
2. Побутові приміщення	340	5,0	1,7
Водопостачання		8,0	2,7
Каналізація		4,0	1,4
Електропроводка		2,0	0,7
Вентиляція		3,0	1
Всього			7,2
3. Зовнішній благоустрій			10
4. Невраховані витрати			90
Загальна вартість будівлі			1220,9

Розрахуємо коефіцієнт оборотного капіталу. Самим великим є доступний запас матеріалів.

Середній поточний запас (Z_m) визначаємо за формулою:

$$З_{\text{м}} = \frac{М_{\text{д}} \cdot Т_{\text{пост}}}{2},$$

де $М_{\text{д}}$ – середньодобове споживання сировини та матеріалів, грн;

$Т_{\text{пост}}$ – інтервал між поставками матеріалів у днях (приймається в межах від 15 до 30 днів).

Середня витрата матеріалів за 1 день визначається як вартість необхідної кількості основних і допоміжних матеріалів, сировини і запасних частин на рік, інвентар, робочий одяг і т.д., ділиться на 240 (де 240 – розрахункова кількість днів у році).

$$З_{\text{м}} = \frac{1909380 \cdot 30}{240 \cdot 2} = 124745 \text{ грн.}$$

Вартість решти елементів загального нормативу оборотного капіталу - що включає витрати на транспортування й підготовку матеріальних запасів, незавершене виробництво, витрати майбутніх періодів, а також залишки готової продукції на складі – приймається на рівні 50% від обчисленого нормативу поточного запасу.

Сукупний обсяг капітальних вкладень у формування оборотних коштів визначається як акумульована сума витрат за всіма зазначеними структурними компонентами. Відповідно, загальний річний норматив оборотного капіталу ($Н_{\text{заг}}$) для об'єкта, що проєктується, розраховується за такою залежністю:

$$Н_{\text{заг}} = 1.5 \cdot З_{\text{м}},$$

де $З_{\text{м}}$ – норматив поточних запасів. У чисельному виразі загальний річний норматив оборотного капіталу складе:

$$Н_{\text{заг}} = 1.5 \cdot 129737 = 184755 \text{ грн.}$$

					ННп31.5419.4203.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		75

Після цього розраховуємо загальні капітальні вкладення в об'єкт, що проектується (табл. 5.8).

Таблиця 5.8 – Розрахунок загальних капітальних вкладень

Елементи капіталовкладень	Сума	
	тис. грн.	%
1. Будівлі: Виробничі	892,08	34,46
1.2. Побутові	383,76	14,82
2. Устаткування Основне технологічне	733,55	28,33
2.2. Допоміжне та підйомно-транспортне	138,6	5,35
3. Норматив оборотних коштів	441	17,03
Всього капіталовкладень у виробничі фонди	2589	100%

5.5 Визначення планової собівартості одиниці продукції

На основі виконаних розрахунків розробляємо основний документ економічної частини проекту планова калькуляція собівартості продукції (табл. 5.8).

Таблиця 5.8 – Планова калькуляція собівартості річного обсягу виробництва продукції

Стаття витрат	Одиниця виміру	Кількість на річну програму	Ціна за одиницю, грн	Витрати на рік, тис.грн	Примітки
1	2	3	4	5	6
1. Сировина та матеріали (за вирахуванням зворотних відходів)					
Порошок Al_2O_3	кг	52400	8	419	ТУ 6-09-426-75
Полівініловий спирт ПВС	кг	1200	4	30	ГОСТ 6709-72

Продовження таблиці 5.8

1	2	3	4	5	6
Кукурудзяний крохмаль	кг	10000	3	30000	Харчовий, ГОСТ 7699-78
Зворотні відходи		40	1	40	
2. Паливо та енергія на технологічні цілі					
Електроенергія (технологічне обладнання)	кВт·го д	130	10	1300	
Електроенергія (освітлення)	кВт·го д	4	10	40	
3. Основна заробітна плата технологічних робітників					
Основна ЗП	грн	23	11000	253	
4. Додаткова заробітна плата технологічних робітників					
Надбавки, доплати, премії	грн	15	5000	75	
5. Єдиний соціальний внесок (ЄСВ)					
ЄСВ (22%)	грн	23	5600	129	
6. Утримання та експлуатація устаткування					
Амортизація, ремонт та обслуговування обладнання	грн			400	
7. Загальновиробничі витрати					
Управління, утримання будівлі, освітлення, охорона праці тощо	грн			350	
8. Загальногосподарські витрати					
Витрати на рівні підприємства (набір персоналу, банк, страхування тощо)	грн			220	
9. Витрати на підготовку та освоєння виробництва					
Освоєння нових технологій	грн			320	

Продовження таблиці 5.8

1	2	3	4	5	6
10. Позавиробничі витрати (витрати на збут)					
Транспортування, упаковка, маркетинг, гарантійне обслуговування	грн			450	
Собівартість року обслуговування				7205,5	

Річна продуктивність цеху становить 5240,8 кг, маса виробу складає 715г., то річна продуктивність відповідно 122000 шт./рік

Тому повна собівартість 1 кг продукції складає $7305548/7240,8 = 1\,008,94$ грн/кг, або $7305548/122000 = 59,88$ грн/шт.

5.6 Розрахунок показників економічної ефективності проектного рішення

Оцінка показників економічної ефективності підприємства здійснюється за наступними показниками:

- трудомісткість продукції (зворотний показник продуктивності живої праці);
- капіталомісткість (фондомісткість) продукції;
- період окупності капітальних витрат.

Трудомісткість продукту визначається як відношення кількості витраченої праці до загальної кількості виробленого продукту. Технічна складність виробничої одиниці розраховується як сума часу, витраченого на індивідуальне виконання технічного процесу. Менш точно технологічну трудомісткість (Т) у нормо-годинах можна вирахувати за формулою:

$$T = \frac{\varphi_{\text{тех}} \cdot \Phi^{\text{пл}}}{Q},$$

де $Ч_T$ – загальна чисельність технологічних робітників, осіб;

$\Phi_{пл}$ – плановий фонд робочого часу за рік одного робітника, год.;

Q – повний річний обсяг виробництва продукції.

$$T = 27 \cdot 1520 / 500000 = 0,082 \text{ нормо-годин/кг.}$$

Фондомісткість продукції (K_G) визначається як величина загальних капітальних витрат ($K_{заг}$) у будівництво або реконструкція цеху з технічного переозброєння виробництва на плановий річний обсяг виробництва:

$$K_G = \frac{K_{заг}}{G};$$

$$K_Q = 7305548 / 122000 = 59,88 \text{ грн/кг.}$$

Річний грошовий потік розраховується як сума чистого прибутку і амортизаційних відрахувань, встановлених за рік експлуатації спроектованого об'єкта:

$$\Gamma P_p = 0,82 \cdot (Ц - C_n) \cdot G + \sum A,$$

де 0,82 – коефіцієнт, який враховує частку чистого прибутку у валовому прибутку;

$Ц$ – ринкова ціна одиниці продукції, грн;

C_n – повна собівартість одиниці продукції, грн;

$\sum A$ – загальна річна сума амортизаційних відрахувань, грн.

Загальна річна сума амортизації розраховується на основі вартості основних засобів і встановленої норми амортизації (табл. 5.9).

					ННп31.5419.4203.003.01ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.9 – Розрахунок сум річних амортизаційних відрахувань

Об'єкт	Ціна, тис.грн	Амортизація, %	Сума відрахувань, тис.грн
Будівлі	4500	8	360
Обладнання	760	24	182
Всього			542

$$\Gamma \text{Пр} = 0,82 \cdot (205 - 159,84) \cdot 37576 + 546180 = 307976,38 \text{грн.}$$

Найбільш розповсюдженим показником економічної ефективності капітальних витрат на нове будівництво, реконструкцію, впровадження нового обладнання чи технології, є період окупності капітальних витрат ($\Pi_{\text{ок}}$), який має критеріальний характер:

$$\Pi_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{заг}}}{\Gamma \text{П}_p} < \Pi_{\text{ок}}^{\text{н}},$$

де $\Gamma \text{П}$ – річна сума грошового потоку, грн;

$\Pi_{\text{ок}}^{\text{н}}$ – нормативний період окупності, 3-7 років.

$$\Pi_{\text{ок}} = \frac{3077976,38}{795400} = 3,8 \text{роки}.$$

Робимо висновок, що проєкт є економічно доцільним, оскільки Всі витрати на створення виробництва осердь кільцевої форми окупаються приблизно через 4 роки

Таблиця 5.10 – Техніко-економічні показники спроектованого об'єкта

Найменування показника	Одиниця виміру	Значення
1	2	3
Річний плановий обсяг виробництва продукції (G)	кг	78000
Загальна площа цеху	м ²	864
Виробнича площа цеху	м ²	724

Продовження таблиці 5.10

1	2	3
Капіталомісткість продукції (K_G)	грн	124,92
Загальна чисельність працівників	осіб	23
Загальний річний фонд заробітної плати	грн	3260540
Середньомісячна зарплата одного працівника	грн	8632
Річний виробіток на одного працівника	кг/особу	1441,69
Технологічна трудомісткість продукції (t)	нормо-години/кг	0,47
Повна собівартість одиниці продукції	грн/кг	59,88
Період окупності (Пок)	років	3,8

ВИСНОВКИ

У дипломному проєкті було спроектовано дільницю з виробництва високопористих керамічних фільтрів для тонкого очищення рідин, продуктивністю 112 000 шт/рік.

Обрано матеріал (порошок чистого оксиду алюмінію Al_2O_3) та технологічну схему для виготовлення, а також проведено матеріальний баланс та розрахунки по кількості обладнання.

Після проведення аналізу виробництва, а саме: впливу пилу, теплового випромінювання, вібрації, шуму, електричної безпеки та пожежної безпеки. Все перелічене зводиться до допустимих норм завдяки впровадженим інженерним рішенням та місцевій аспірації. Прийнято рішення, що при дотриманні вище встановлених правил та використанні засобів захисту, підприємство не порушує правил та заходів щодо охорони праці.

Проведено організаційно-економічний аналіз доцільності даного дипломного проєкту та виявлено, що дане дослідження є доцільним та окупним з економічної точки зору.

Собівартість одиниці продукції становить 59,88 грн/шт. Період окупності виробництва 3,8 роки.

Звідси робимо висновок, що дане виробництво виявляється цілком рентабельним та прибутковим, оскільки розрахунковий час окупається за ~4 роки, а нормативний період окупності становить 3-7 років.

					<i>ННn31.5419.4203.003.01ПЗ</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>ВИСНОВКИ</i>		
Розробив		Єрьомін В. О.					
Перевірів		Наконечний С. О.					
Реценз.							
Н. Контр.		Бірюкович Л. О.					
Затверд.		Богомол Ю. І.					
					Літ.	Арк.	Архівнів
						82	92
					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. НН-n31		

CONCLUSIONS

In this diploma project, a production area for highly porous ceramic filters intended for fine liquid purification was designed, with a production capacity of 112,000 units/year.

The material (pure aluminum oxide powder, Al_2O_3) and the technological scheme for manufacturing were selected. Additionally, the material balance and calculations for the required quantity of equipment were performed.

An analysis of the production environment was conducted, specifically assessing the impact of dust, thermal radiation, vibration, noise, electrical safety, and fire safety. All of the aforementioned factors are kept within permissible limits due to the implemented engineering solutions and local exhaust ventilation. It was determined that, provided the established rules are followed and personal protective equipment is used, the enterprise fully complies with occupational health and safety regulations.

An organizational and economic feasibility analysis of this diploma project was carried out, revealing that the project is viable and cost-effective from an economic perspective.

The unit cost of production is 59.88 UAH/unit. The payback period for the production is 3.8 years.

Therefore, we conclude that this production is completely profitable and economically viable, as the calculated payback period is ~4 years, which falls within the standard normative payback period of 3-7 years.

					HHn31.5419.4203.003.01ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	CONCLUSIONS						
Розробив		Єрьомін В. О.									
Перевірів		Наконечний С. О.									
Реценз.											
Н. Контр.		Бірюкович Л. О.									
Затверд.		Богомол Ю. І.									
					Літ.			Арк.		Акривіє	
								83		92	
					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. HH-n31						

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Іванов А. Г. Виробництво високопористих керамічних фільтрів для тонкого очищення рідин [Електронний ресурс] : дипломний проєкт бакалавра : спец. 132 «Матеріалознавство» / А. Г. Іванов ; НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського». – Київ, 2021. – Режим доступу: https://urly.it/31f_b-. – Назва з екрану. – Дата звернення: 13.05.2026.
2. Классификация свойств пористых материалов [Текст] / П. А. Витязь, В. К. Шелег, В. М. Капцевич, В. В. Савич. – Порошковая металлургия. – 1986. – № 12. – С. 72–79.
3. Степанчук А.Н. Технология порошковой металлургии [Текст] / А.Н. Степанчук, И.И. Билык, П.А. Бойко. – К.: Выща шк., Головное изд-во, 1989. – 415 с.
4. Силенко П. М. Спосіб виготовлення керамічного фільтра [Електронний ресурс] : пат. 89920 Україна : МПК В01Д 53/86, В01J 23/76 / Силенко П. М. ; заявник та патентовласник Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України. – № а200902483 ; заявл. 19.03.2009 ; опубл. 10.03.2010, Бюл. № 5/2010. – Режим доступу: <https://sis.nipo.gov.ua/en/search/detail/438034/> (дата звернення: 08.05.2026).
5. Білоусов О. Ю. Фільтрувальні композити на основі пороутворюючих матеріалів різного генезису [Електронний ресурс] : дис. ... канд. техн. наук : 05.17.11 / Білоусов Олег Юрійович ; Нац. техн. ун-т України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». – К., 2021. – 165 с. – Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/45678> (дата звернення: 08.04.2026).
6. Clay Ceramic Materials for Water Filtration: Properties, Processing and Performance [Electronic resource] // Princeton University Research. – 2016. – Mode of access: <https://oar.princeton.edu/bitstream/88435/pr11p2g/1/ClayCeramicWalterFiltration.pdf> (date of access: 08.04.2026).
7. Інтенсифікація процесів мембранного розділення харчової сировини [Електронний ресурс] / Г. В. Дейниченко, Д. В. Дмитревський, В. В. Перекрест

					ННn31.5419.4203.003.01ПЗ	Арк. 84
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

[та ін.] // Удосконалення процесів і апаратів харчових виробництв. – 2022. – № 45, т. 2. – С. 38–46. – Режим доступу: <https://doi.org/10.33274/2079-4827-2022-45-2-38-46>
Дата звернення: 08.04.2026

8. Сімонов Д. А. Виготовлення фільтрів для очистки агресивних рідин [Електронний ресурс] : дипломний проєкт бакалавра : спец. 132 «Матеріалознавство» / Д. А. Сімонов ; НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського». – Київ, 2024. – Режим доступу: https://urly.it/31f_bz. – Назва з екрану. – Дата звернення: 10.04.2026

9. Черевашко Д. Р. Портативний фільтр для очистки води з використанням керамічної мембрани, насиченої ем-препаратом [Електронний ресурс] : пат. 84881 Україна : МПК C02F 1/44 / Черевашко Д. Р. ; заявник та патентовласник Черевашко Д. Р. – № u201302617 ; заявл. 04.03.2013 ; опубл. 11.11.2013, Бюл. № 21/2013. – Режим доступу: <https://sis.nipo.gov.ua/en/search/detail/628743/> (дата звернення: 08.04.2026).

10.Алюміній оксид (алюміній окис) чистий для аналізу, чистий. [Текст]: ТУ 6-09-426-75. – [Чинний з 1976-01-01]. – [Б. м. : б. в.], 1975. – 65 с.

11.Вода дистильована. Технічні умови [Текст] : ГОСТ 6709-72. – [Чинний з 1974-01-01]. — Москва : Изд-во стандартов, 1972. – 12 с.

12.ДСТУ Б.А 1.1-38-94. Будівельні вироби з пористої кераміки. Терміни та визначення [Електронний ресурс]. – Введ. 1995–01–01. – К. : Держкоммістобудування України, 1994. – 10 с. – (Державний стандарт України). – Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=4156 (дата звернення: 08.04.2026).

13.Гулієнко С. В. Експериментальне дослідження параметрів очищення водних розчинів керамічними, вугільними фільтрами та зворотньоосмотичним модулем [Електронний ресурс] // Кераміка: наука і життя. – 2019. – № 3 (44). – С. 30–36. – URL: <https://urly.it/31f-xf> (дата звернення: 08.04.2026).

14.Причепа І. В. Економіка та організація виробництва [Текст] / І. П. Руда, І. В. Причепа. – Вінниця: ВНТУ, 2017. – 186 с.

15.Евтеев А. А. Особенности спекания керамики в системе оксид алюминия—диоксид циркония с добавками эвтектических составов [Текст] / А. А. Евтеев, Д. О. Лемешев Н. А. Макаров. – Техника и технология силикатов, 2013. – С. 2 – 7.

					ННп31.5419.4203.003.01ПЗ	Арк. 85
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

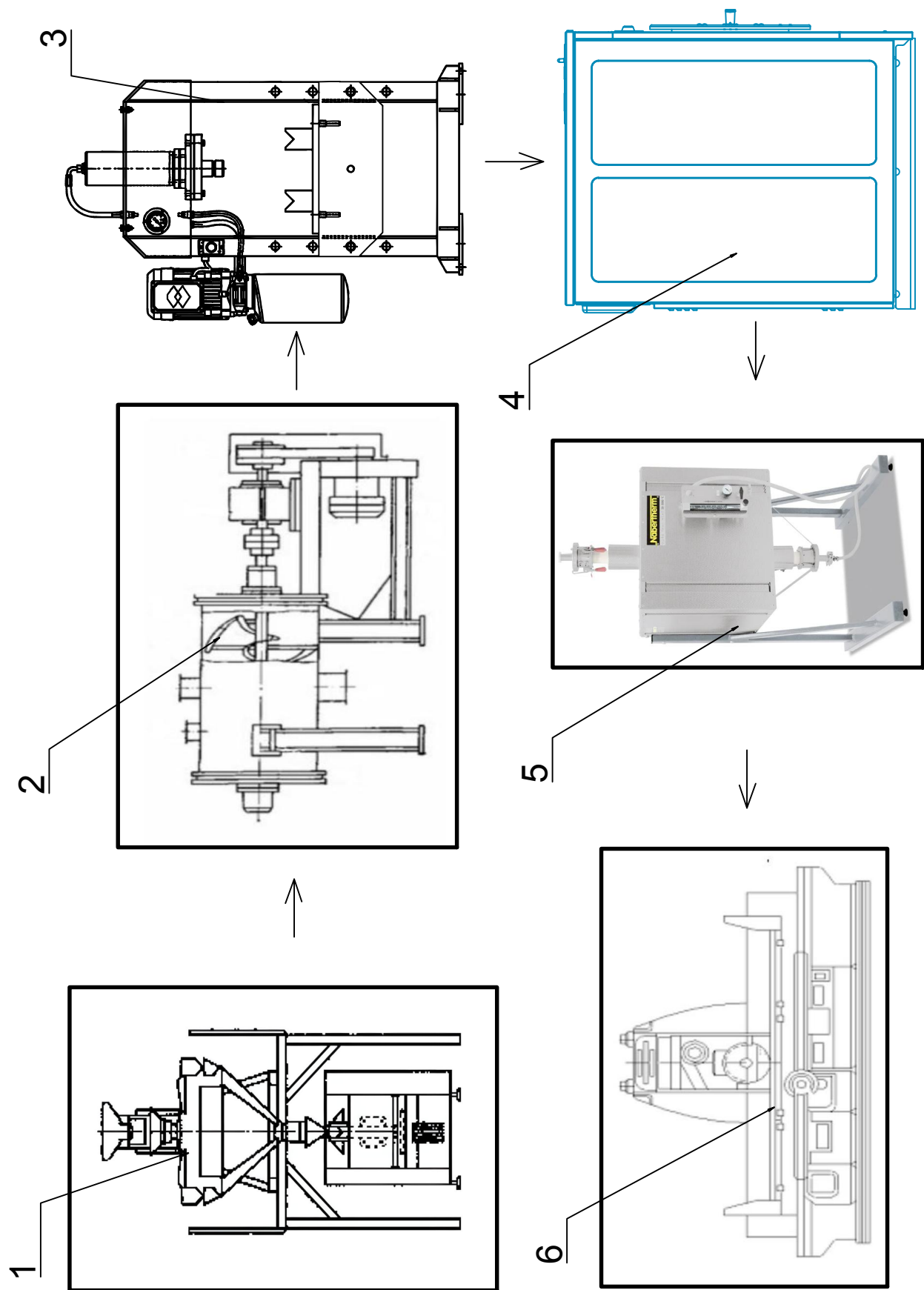
16. Пожежна безпека на підприємстві [Електронний ресурс] / А.В. Любко. – Режим доступу: urlu.it/31f-xg. – Назва з екрану. – Дата звернення: 28.05.2026.
17. Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. [Текст] : ДСН 3.3.6.042-99. – [Чинний з 1999-12-01]. – Київ : Міністерство охорони здоров'я, 1999. – 14 с.
18. Державні будівельні норми України .Природне та штучне освітлення. [Текст] : ДБН В.2.5.-28-2006. – [Чинний з 2006-05-15]. – Київ : Мінбуд України , 2006. – 76 с.
19. Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення. [Текст] : ДБН В.2.5.-28-2006. – [Чинний з 2006-05-15]. – Київ : Мінбуд України , 2006. – 78 с.
20. Засоби індивідуального захисту на підприємстві [Електронний ресурс] / І.Н. Іващенко. – Режим доступу: <https://op.expertus.com.ua/recommendations/2032>. – Назва з екрану. – Дата звернення: 28.05.2026
21. Про затвердження правил улаштування електроустановок [Електронний ресурс] / Л.І. Бурдяк. : Наказ міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 21.07.2017. № 476: станом на 28 трав. 2024 р. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0476732-17#Text>. – Назва з екрану. – Дата звернення: 24.05.2026
22. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [Текст] : ДБН В.2.5-67:2013. – [Чинний з 2014-01-01]. – Київ : Мінрегіон України, 2013. – 141 с.
23. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. [Текст] : ДСТУ Б В.1.1-36:2016. – [Чинний з 2017-01-01]. – Київ : ДП "УкрНДНЦ", 2016. – 41 с.
24. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. [Текст] : ДСН 3.3.6.037-99. – [Чинний з 1999-12-01]. – Київ : Міністерство охорони здоров'я, 1999.
25. ГОСТ 12.1.005-88. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони. [Текст] : ГОСТ 12.1.005-88. – [Чинний з 1989-01-01].

					ННп31.5419.4203.003.01ПЗ	Арк.
						86
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

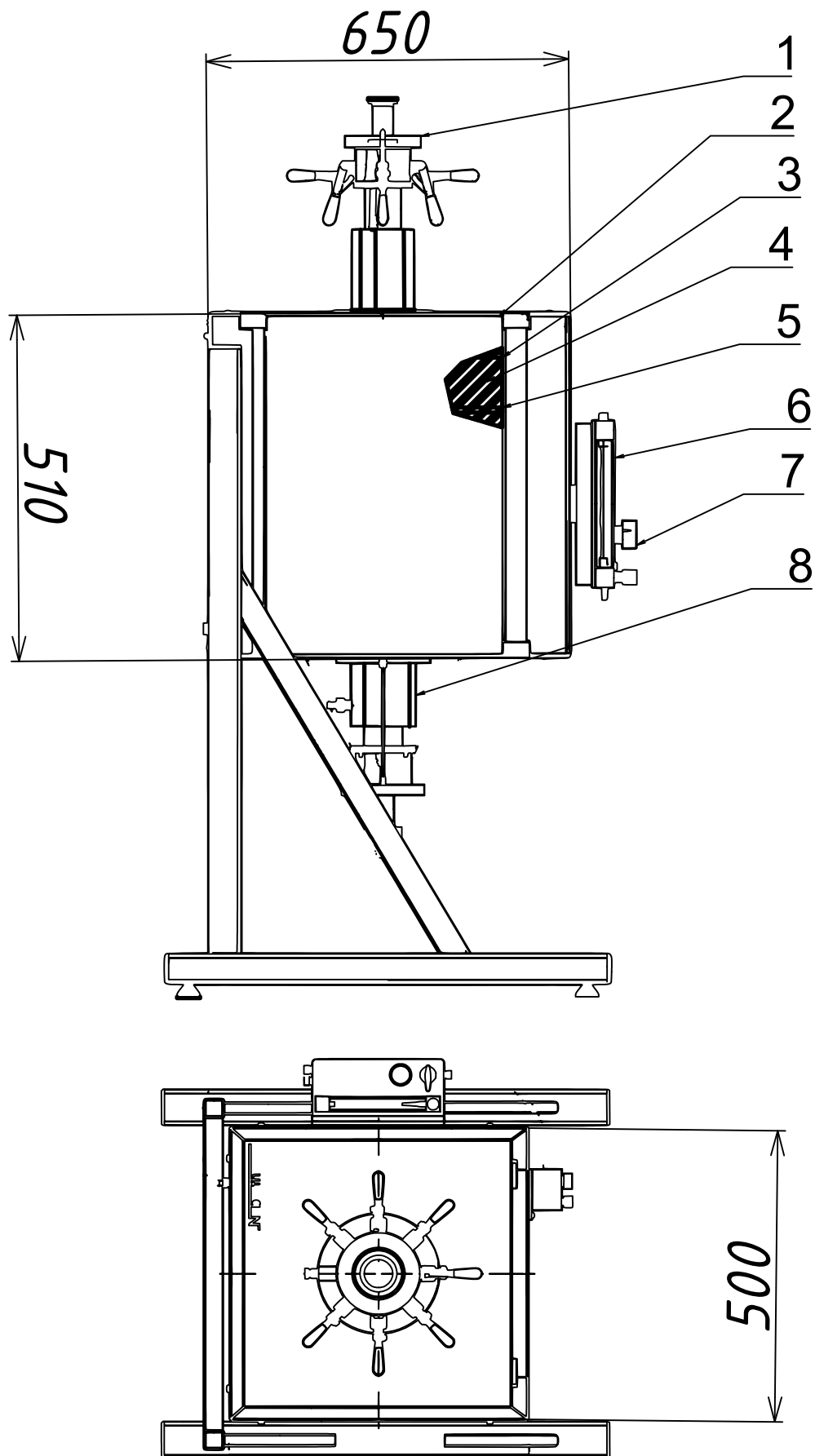
[illegible]

[illegible]

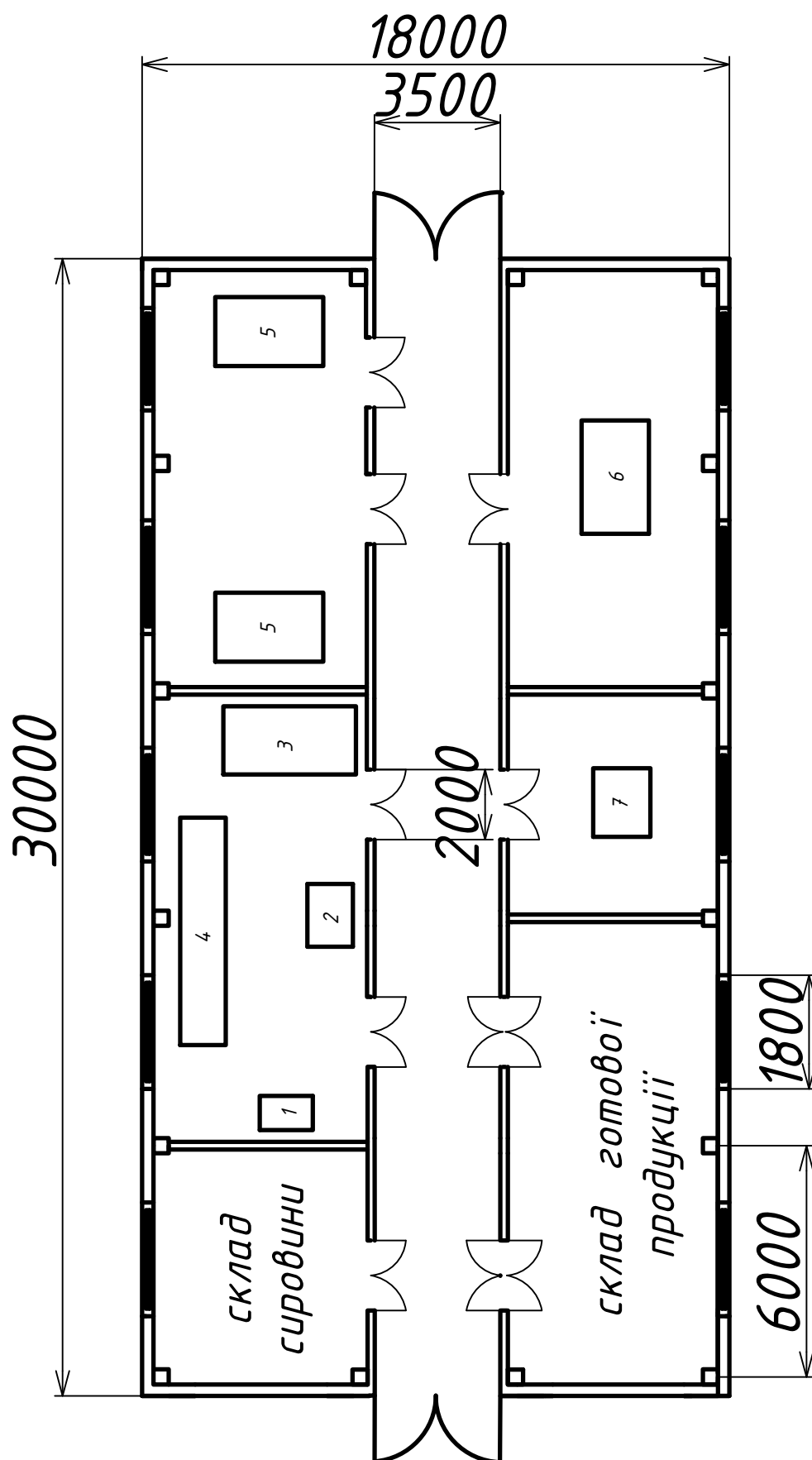
[illegible]



					ННп31.5419.4203.00 3.0 2 АС		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Апаратурно - технологічна схема		
Розроб.	Єрьомін В. О.						
Перев.	Наконечний С. О.				Літ.		
					Аркуш	Аркушів	1
Н. контр.	Бірюкович Л. О.				КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. НН-п31		
Затверд.	Богомол Ю. І.						



					ННп 31.54 19.4203.003.03 КП		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Камерна піч		
Розроб.	Єрьомін В. О.						
Перев.	Наконечний С. О.				Літ. Аркуш Аркушів		
							1
Н. контр.	Бірюкович Л. О.				КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. НН-п31		
Затверд.	Богомол Ю. І.						



					ННп 31.5419.4203.003.04 ПД			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Єрьомін В. О.				План діляниці			
Перев.	Наконечний С. О.							
Н. контр.	Бірюкович Л. О.				КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. НН-п31			
Затверд.	Богомол Ю. І.							
					Літ.	Аркуш	Аркушів	
							1	

Техніко-економічні показники спроектованого об'єкта

Найменування показника	Одиниця виміру	Значення
Річний плановий обсяг виробництва продукції	шт	112000
Річний плановий обсяг виробництва продукції	кг	78000
Загальна площа цеху	м ²	540
Капіталомісткість продукції	грн	124,92
Загальна чисельність працівників	осіб	23
Загальний річний фонд заробітної плати	грн	3260540
Річний виробіток на одного працівника	кг/особу	1441,69
Технологічна трудомісткість продукції	нормо-години/кг	0,45
Повна собівартість одиниці продукції	грн/кг	59,88
Період окупності	років	3,8

ЗАУВАЖЕННЯ

до дипломного проєкту на здобуття ступеня бакалавра студента
ЄРЬОМІНА Віталія Олександровича

Зауваження	Відмітка
ТИТУЛЬНА СТОРІНКА	
ВІДОМІСТЬ ДП	
Порушена нумерація документів	
Відсутній плакат Техніко-економічні показники	
ЗАВДАННЯ	
Не входить до записки, а є окремим файлом, тому треба змінити нумерацію сторінок записки	
Не заповнено номер наказу	
Підпис: Віталій ЄРЬОМІН без коми після імені	
РЕФЕРАТ	
Ключові слова за українською абеткою	
ЗМІСТ	
Невірна назва розділу	РОЗДІЛ ОХОРОНИ ПРАЦІ
ТЕКСТ РОБОТИ	
Для заповнення основних написів використовувати шрифт одного стилю без насічок курсивом	
Якщо в тексті є посилання на рисунок (таблицю) в контексті речення, то друкують «на рисунку» («у таблиці»). Якщо посилання у дужках, то (рис. 1.1., табл. 2.3)	
Текст не можна відривати від заголовка і переносити на наступну сторінку	П.1.1.2
Відсутній ескіз і розміри виробу	
Посилання повинні бути на усі нормативні документи (текст, таблиці), бібліографічні описи яких мають бути занесені до ПЕРЕЛІКУ ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	
Інтервал величин помічають «тере», а не «дефіс», без пробілів до і після. Стосується усіх інтервалів величин (сторінок також): 10 – 30 ГПа має бути 10–30 ГПа, або пишуть від 10 ГПа до 30 ГПа.	Увесь текст включно із таблицями
Прийменник «при» в українській мові вживається тільки у випадках «при цьому», «при тому», близько до чогось «хата при дорозі», «ліцей при університеті». В усіх інших випадках вживають відповідно до контексту речення: «за» (тиску, температури тощо), «під час» (пресування, спікання тощо), «у» (виробництві виробів... тощо)	
Не можна переносити на наступний рядок номер табл. або рис., ініціали, розмірність від величини тощо	Використовувати нерозривний пробіл ctrl+shift+пробіл
Відсутня таблиця «Планово-попереджувального ремонту». Користуватись для оформлення і розрахунку цим НП →	https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/ce32a2d1-aa1d-431f-92e7-2e6221c06a74/content
Невірно виконана таблиця із продовженням	Табл. 1.2, 1.3 тощо
Ненумерований марккє «тире»	

Опис бібліографічних джерел виконують відповідно до ДСТУ ГОСТ 7.1:2006	
ДОДАТКИ	
Скласти правильно шифр записки, специфікацій та креслеників	
Додати до АС та ПД шифр кресленика печі	
КРЕСЛЕНИКИ	
Усі кресленики для теки виконані на А4	
В основних написах виправити шифр	
<i>Спецагрегат.</i> Змінити орієнтацію аркуша на книжкову	
<i>План ділянки.</i> Багато вільного місця у приміщеннях.	
ПРЕЗЕНТАЦІЯ	
Відсутня технологічна схема	
Відсутні техніко-економічні показники	
Нелогічна послідовність слайдів	

Відповідальний за нормо контроль
кафедри ВТМ та ПМ

Ліна БІРЮКОВИЧ
15.06.2026

– у графі 2 – позначення документа відповідно до [33], наприклад:
ФН21.2103.4203.003.01ПЗ, де

1	2	3	4	5
ФН21	2103	4203	003	01ПЗ
шифр групи	номер	код кафедри	номер	номер
	залікової	ВТМ та ПМ	дипломного	документа ²
	книжки		проєкту у	
	студента		навчальному	
			плані	

Примітка 2. .00 – відомість дипломного проєкту; .01ПЗ – пояснювальна записка;
.02АС – апаратурно-технологічна схема; .03СА – спец-агрегат; .04ПД – план ділянки.



Метадані

ДОКУМЕНТ

Заголовок

IerominVO_pFN31

Автор

Єршомін Віталій Олександрович

Науковий керівник / Експерт

Наконечний Сергій Олегович

ІД документу

334308911

ОРГАНІЗАЦІЯ

Назва організації

National Technical University of Ukraine Igor Sikorskyi Kyiv
Politech Institute

підрозділ

ІМЗ, К-ра високотемпературних матеріалів та порошкової
металургії

ЗВІТ

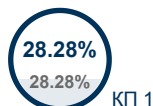
Дата звіту

6/13/2026

Дата редагування

Обсяг знайдених подібностей

Коефіцієнт подібності визначає, який відсоток тексту по відношенню до загального обсягу тексту було знайдено в різних джерелах. Зверніть увагу, що високі значення коефіцієнта не автоматично означають плагіат. Звіт має аналізувати компетентна / уповноважена особа.



15776

Кількість слів

127756

Кількість символів

Тривога

У цьому розділі ви знайдете інформацію щодо текстових спотворень. Ці спотворення в тексті можуть говорити про МОЖЛИВІ маніпуляції в тексті. Спотворення в тексті можуть мати навмисний характер, але частіше характер технічних помилок при конвертації документа та його збереженні, тому ми рекомендуємо вам підходити до аналізу цього модуля відповідально. У разі виникнення запитань, просимо звертатися до нашої служби підтримки.

Заміна букв		3
Інтервали		0
Мікропробіли		0
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)		279

Джерела

Нижче наведений список джерел. В цьому списку є джерела із різних баз даних. Колір тексту означає в якому джерелі він був знайдений. Ці джерела і значення Коефіцієнту Подібності не відображають прямого плагіату. Необхідно відкрити кожне джерело і проаналізувати зміст і правильність оформлення джерела.

10 найдовших фраз

Колір тексту

#	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
---	--	---