

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ**

**Кафедра прикладної екології та охорони праці**

(повна назва кафедри)

**Кваліфікаційний проект**

рівень вищої освіти другий (магістерський)

на тему «Проект системи очистки газів, що утворюються при конвертерному виробництві конструкційних сталей»

Виконав: студентка 2 курсу, групи 8.1839

Спеціальності 183 «Технології захисту  
навколишнього середовища»

(назва)

Освітньої програми «Технології захисту  
навколишнього середовища»

(назва)

спеціалізації \_\_\_\_\_

(код і назва спеціалізації)

Тимчук І.С.

(ініціали та прізвище)

Керівник доцент, к.т.н. Кожемякін Г.Б.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент професор, д.т.н. Куріс Ю.В.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

м. Запоріжжя

2020

## АНОТАЦІЯ

Тимчук І.С. Проект системи очистки газів, що утворюються при конвертерному виробництві конструкційних сталей.

Кваліфікаційна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 183 – Технологія захисту навколишнього середовища, науковий керівник Г.Б. Кожемякін. Запорізький національний університет. Інженерний навчально-науковий інститут, кафедра прикладної екології та охорони праці, 2020.

Виконаний аналіз існуючих технологій очищення газів киснево-конвертерного виробництва. Проведено розрахунки, за результатом яких було підібрано технологічне обладнання – апарати для очищення технологічного газу. Виконано розрахунок аеродинамічного тракту, було підібрано тягодуттєвий пристрій. Обрано апарати для утилізації газу та вловленого пилу.

Ключові слова: АЕРОДИНАМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК, ВИПАРНИЙ СКРУБЕР, КИСНЕВИЙ КОНВЕРТЕР, КИСНЕВО-КОНВЕРТОРНЕ ВИРОБНИЦТВО, КОТЕЛ-УТИЛІЗАТОР, РУКАВНИЙ ФІЛЬТР, СУХЕ ОЧИЩЕННЯ, СХЕМА ГАЗООЧИЩЕННЯ, ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА

Список публікацій магістранта:

1.Тимчук І.С., Кожемякін Г.Б.Підвищення ефективності очистки газів, що утворюються при конвертерному виробництві конструкційних сталей : Матеріали XXV науково-технічної конференції студентів, магістрантів, аспірантів, молодих вчених та викладачів . Запоріжжя : ІННІ ЗНУ, 2020. С.363-364.

## ABSTRACT

Tymchuk I.S. The project of Gas Cleaning system that are obtained by BOF production of structural steel.

Qualifying work for obtaining a master's degree in higher education by speciality 183 – Environmental protection technologies, scientific supervisor is Kozhemiakin G.B. Zaporizhzhia National University Engineering Educational and Scientific Institute. The Department of Applied Ecology and Labour Protection, 2020.

The analysis of existing technologies for cleaning gases by BOF production has been carried out. Calculations for selection of process equipment for gas process cleaning has been implemented. Aerodynamic route calculation has been made, draft consummation has been selected. Equipment for gas recovery and captured dust has been selected.

Keywords: AERODYNAMIC CALCULATION, VAPORIZING SCRUBBER, OXYGEN CONVERTER, BOF-OPERATION, HEAT-RECOVERY BOILER, SLEEVE FILTER, DRY CLEANING, GAS CLEANING SCHEME, PRODUCTION TECHNOLOGY

List of postgraduate publications:

1.Тимчук І.С., Кожемякін Г.Б Підвищення ефективності очистки газів, що утворюються при конвертерному виробництві конструкційних сталей : Матеріали XXV науково-технічної конференції студентів, магістрантів, аспірантів, молодих вчених та викладачів . Запоріжжя : ІННІ ЗНУ, 2020. С.363-364.

## АННОТАЦИЯ

Тымчук И.С. Проект системы очистки газов, образующихся при конвертерном производстве конструкционных сталей.

Квалификационная работа для получения степени высшего образования магистра по специальности 183 – Технология защиты окружающей среды, научный руководитель Кожемякин Г.Б. Запорожский национальный университет Инженерный учебно-научный институт, кафедра прикладной экологии и охраны труда, 2020.

Выполнен анализ существующих технологий очистки газов конвертерного производства. Выполнен расчет, по результатам которого подобрано технологическое оборудование – аппараты для очистки технологического газа. Выполнен расчет аэродинамического тракта, подобрано тягодутьевое оборудование. Выбраны аппараты для утилизации газа и уловленной пыли.

Ключевые слова: АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ, ИСПАРИТЕЛЬНЫЙ СКРУББЕР, КИСЛОРОДНЫЙ КОНВЕРТЕР, КИСЛОРОДНО-КОНВЕРТЕРНОЕ ПРОИЗВОДСТВО, КОТЕЛ-УТИЛИЗАТОР, РУКАВНЫЙ ФИЛЬТР, СУХАЯ ОЧИСТКА, СХЕМА ГАЗООЧИСТКИ, ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Список публикаций магистранта:

1.Тимчук І.С., Кожемякін Г.Б Підвищення ефективності очистки газів, що утворюються при конвертерному виробництві конструкційних сталей : Матеріали XXV науково-технічної конференції студентів, магістрантів, аспірантів, молодих вчених та викладачів . Запоріжжя : ІННІ ЗНУ, 2020. С.363-364.

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ**

Кафедра прикладної екології та охорони праці

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

(перший (бакалаврський) рівень, другий (магістерський) рівень)

Спеціальність 183 «Технології захисту навколишнього середовища»

(шифр)

Освітня програма «Технології захисту навколишнього середовища»

(назва)

Спеціалізація \_\_\_\_\_

(код та назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

Г.Б. Кожемякін

“01” грудня 2020 року

**ЗАВДАННЯ**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ/ПРОЕКТ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)**

Тимчук Ірини Сергіївни

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) «Проект системи очистки газів, що утворюються при конвертерному виробництві конструкційних сталей»

керівник роботи Кожемякін Геннадій Борисович, доцент, канд. техн.наук

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “09” 10 2020 року № 1584-с

2. Строк подання студентом 01.12.2020

3. Вихідні дані до роботи: Температура конвертерного газу-1700°C об'ємом 65000 м<sup>3</sup>/год, запиленістю 160 г/м<sup>3</sup>. Склад газу: СО-85%, СО<sub>2</sub> -11%, N<sub>2</sub>-2%, О<sub>2</sub>-2%

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) вступ, Теоретичні аспекти інновацій в галузі технологій захисту навколишнього середовища, Дослідницький розділ, Проектування основного та допоміжного обладнання технології очистки газів. Охорона праці та техногенна безпека, Організаційно-економічна ефективність проекту, техніко-економічне обґрунтування проектних рішень, висновки, список використаних джерел

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 11 креслень: Апаратурно-технологічна схема киснево-конвертерного виробництва; план киснево-конвертерного цеху, розріз киснево-конвертерного цеху, Кисневий конвертер 160 т, принципова схема системи газоочищення, розріз системи газоочищення, Рукавний фільтр ФРІР-1200, Принципова схема утилізації вловленого пилу, Чашовий огрудкувач, звукоізольована кабіна, техніко-економічні показники



## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	доц., к.т.н. Кожемякін Г.Б.		
2	доц., к.т.н. Кожемякін Г.Б.		
3	доц., к.т.н. Кожемякін Г.Б.		
4	доц., к.т.н. Кожемякін Г.Б.		
5	доц., к.т.н. Кожемякін Г.Б.		

7. Дата видачі завдання 01.09.2020 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Збір матеріалу	01.09-10.09 2020	
2	Аналіз зібраного матеріалу	11.09-29.09 2020	
3	Виконання 1 розділу	30.09-05.10 2020	
4	Виконання 2 розділу	06.10-15.10 2020	
5	Виконання 3 розділу	16.10-28.10 2020	
6	Виконання 4 розділу	29.10-05.11 2020	
7	Виконання 5 розділу	06.11-14.11 2020	
9	Розробка графічного матеріалу	01.11-01.12.2020	
10	Перевірка роботи консультантами	01.11-01.12.2020	
11	Попередній захист роботи	01.12.2020	
12	Захист роботи у ЕК	15.12.2020	

Студент

(підпис)

Тимчук І.С.

(ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту)

(підпис)

Кожемякін Г.Б.

(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер

(підпис)

Рижков В.Г.

(ініціали та прізвище)

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційний проект для здобуття ступеня вищої освіти магістра : 92 с., 17 табл., 15 рис., 53 джерел.

АЕРОДИНАМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК, ВИПАРНИЙ СКРУБЕР, КИСНЕВИЙ КОНВЕРТЕР, КИСНЕВО-КОНВЕРТОРНЕ ВИРОБНИЦТВО, КОТЕЛ-УТИЛІЗАТОР, РУКАВНИЙ ФІЛЬТР, СУХЕ ОЧИЩЕННЯ, СХЕМА ГАЗООЧИЩЕННЯ, ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА

Об'єкти дослідження – ділянка газоочищення конверторних газів;

Предмет дослідження – система очищення конвертерного газу;

Мета роботи – на основі вивчення апаратурно-технологічних схем газоочисних установок, які експлуатуються у промисловому виробництві, переробці та утилізації відходів виробництва, проаналізувати умови і причини виникнення промислових викидів, технологічні процеси по локалізації викидів та розробити технологію очищення газів з метою запобігання забруднення технологічними газами навколишнього середовища, провести розрахунок обладнання, що використовується в процесі очистки, а також аеродинамічний розрахунок газового тракту.

Проаналізовані джерела викидів конвертерного виробництва, наведено їх фізичні та хімічні властивості. Виконаний аналіз існуючих технологій очищення газів киснево-конвертерного виробництва. Проведено розрахунки, за результатом яких було підібрано технологічне обладнання – апарати для очищення технологічного газу, а саме : котел-утилізатор ОКГ-180, випарний скруббер АКРП-3,8, рукавний фільтр ФРІР-1200. Виконано розрахунок аеродинамічного тракту, було підібрано тягодуттєвий пристрій (ДН-21). Обрано апарати для утилізації газу та вловленого пилу.

Строк окупності капітальних вкладень у запроєктовану систему очищення становить 3,87 років, а коефіцієнт ефективності капіталовкладень – 0,26 грн/(грн·рік)

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ІННОВАЦІЙ В ГАЛУЗІ ТЕХНОЛОГІЙ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА .....	9
1.1 Інноваційний розвиток – основа сталого розвитку та збереження на його засадах навколишнього середовища .....	9
1.2 Інноваційні технології захисту навколишнього середовища.....	13
2 ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ.....	19
2.1 Технологія киснево-конвертерного виробництва.....	19
2.2 Джерела та характеристика викидів конверторної плавки.....	23
2.3 Існуючі технологічні схеми знешкодження відхідних газів конвертерного виробництва.....	29
2.4 Обґрунтування обраної схеми очищення конвертерного газу.....	34
2.4.1 Доцільність системи відводу газів без допалювання СО.....	34
3 ПРОЄКТНИЙ РОЗДІЛ.....	37
3.1 Проектування основного та допоміжного обладнання технології очистки газів.....	37
3.2 Вибір та розрахунок апаратів по утилізації вловленого пилю.....	56
3.3 Контроль та автоматизація системи очищення конвертерних газів.....	61
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА.....	64
4.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів.....	64
4.2 Заходи з поліпшення умов праці.....	67
4.3 Виробнича санітарія.....	68



4.4 Заходи з електробезпеки .....	71
4.5 Заходи пожежної безпеки.....	72
4.6 Розрахунок звукоізованого поста керування конверторника .....	73
5 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЕКТУ .....	77
ВИСНОВКИ .....	86
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ВИКОРИСТАННЯ .....	87

## ВСТУП

Чорна металургія – це одна з найбільш важливих секторів важкої промисловості, який охоплює виробництво чорних металів, пов'язаних з ними сировинних матеріалів і напівфабрикатів та, в порівнянні з іншими галузями промисловості, визначає загальносоюзну спеціалізацію економіки.

Металургійний комплекс складається з низки виробничих процесів, таких як: коксування вугілля, виробництво чавуну, сталі та прокату тощо. Чорна металургія характеризується низкою технологічних етапів та супроводжується викидами у навколишнє середовище [1]. Однією з найбільш серйозних екологічних проблем багатьох міст є забруднення атмосферного повітря. Вплив забрудненого повітря на здоров'я людини проявляється за рахунок скорочення середнього часу життя, збільшення кількостей передчасних смертей, збільшення захворюваності і негативного впливу на розвиток підростаючого покоління [2].

Проблема охорони навколишнього середовища міста Запоріжжя, як промислового мегаполісу, є дуже актуальною. Серед промислових підприємств міста негативний вплив здійснюють металургійні комбінати. Станом на 2020 рік на одному з підприємств, а саме на МК «Запоріжсталь» з метою підвищення екологічної безпеки підписаний Меморандум про співпрацю в сфері охорони навколишнього середовища з Запорізькою ОДА, яким передбачено модернізацію сталеплавильного цеху, а саме поступове виведення з експлуатації мартенівських печей та введення киснево-конвертерного цеху.

Сьогодні киснево-конвертерний процес є одним з основних сталеплавильним процесом у світі. Широкому розповсюдженню киснево-конвертерного процесу сприяли його висока продуктивність, екологічна чистота, простота керування та можливість виробництва сталі широкого асортименту з використанням чавуну різноманітного хімічного складу [3].

Аналіз літературних джерел свідчить про те, що киснево-конвертерне виробництво достатньо розповсюджене у провідних країнах світу, в наявності

яких є металургійні комплекси. Як наслідок, розвинуті країни мають конкурентоспроможні металургійні потужності.

Використання в Україні, зокрема у Запоріжжі, застарілої технології виплавляння сталі у мартенівських печах обумовлює велику енергоємність металургійного виробництва та призводить до неефективного споживання паливо-енергетичних ресурсів.

Таким чином, введення киснево-конвертерного виробництва в технологічні ланцюги підприємств сприятиме підвищенню металургійних потужностей країни, а також знизить антропогенне навантаження на навколишнє середовище.

Використання сучасних систем очищення конвертерного газу дозволяють подальше його використання в якості палива зі зменшенням антропогенного навантаження на навколишнє середовище.

Таким чином, метою магістерського проекту є проектування системи очистки газів, що утворюються при конвертерному виробництві конструкційних сталей. Поставлена мета досягається розв'язанням наступних завдань:

- 1) порівняння існуючих способів та обґрунтування вибору найбільш ефективного способу очищення конвертерного газу;
- 2) проектування системи очищення конвертерного газу;
- 3) техніко-економічний розрахунок розроблених природоохоронних заходів.

# 1 ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ІННОВАЦІЙ В ГАЛУЗІ ТЕХНОЛОГІЙ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

## 1.1 Інноваційний розвиток – основа сталого розвитку та збереження на його засадах навколишнього середовища

Оскільки Україна є активним учасником глобальної системи світового господарства, важливим напрямком країни є підвищення конкурентоспроможності завдяки активнішому впровадженню на національному рівні екологічних інновацій. Їх впровадження сприяє розвитку і розширенню ринку екологічних товарів та послуг. Вирішення екологічних проблем у рамках інноваційного підходу характеризується комплексністю, під якою мається на увазі цілеспрямоване якісне відновлення техніко-технологічної основи виробництва та його організаційних принципів і маркетингових прийомів. Крім того, даний підхід сприяє науково-технічному прогресу і цілком відповідає вимогам поточного етапу переходу економіки до сталого екологічно безпечного розвитку [4].

Станом на 2020 рік на рівні реальної державної політики цілої низки країн, з'явилась і розвивається концепція переходу до так званого сталого суспільно-економічного розвитку. В основу цієї доктрини, стратегії покладено необхідність практичного забезпечення збалансованого вирішення соціально-економічних проблем на підставі збереження життєздатного навколишнього середовища та природно-ресурсного потенціалу не тільки для сьогодення, але і для прийдешніх поколінь. Фактично, стратегія сталого соціально-економічного розвитку – це концепція, що має в своїй основі екологізацію, в першу чергу, економічної діяльності як такої, шляхом формування нового економіко-правового механізму господарювання, адекватно поєднуючого потенціал подальшого розвитку одночасно зі збереженням навколишнього природного середовища. Очевидно, що така перебудова може бути здійснена на глибокому інституційному рівні і має досить велику соціальну ціну [5].

На сучасному етапі економічний розвиток України повинен полягати в переході від здійснення окремих, і навіть комплексних природоохоронних заходів, до розробки і реалізації концепції всебічної екологізації суспільного виробництва та інших сфер діяльності. Екологізація інноваційної та інвестиційної діяльності, створення системи державного стимулювання ресурсозберігаючих і природоохоронних розробок, і приведення їх у відповідність до вимог стратегії сталого розвитку і екологічної безпеки країни є обов'язковими умовами для досягнення цієї мети. Застосування екологічних інновацій сприятиме зменшенню ресурсоемності продукції промислового виробництва та раціональному використанню природних ресурсів, що залучені в господарський оборот (земельні і водні ресурси, надра тощо) та зменшити викиди шкідливих речовин в атмосферне повітря.

Основою для деякого зростання національного виробництва останніми роками були також низько технологічні, сировинно-видобувні, та такі, що піддаються рециркуляції економічні моделі, що характеризуються надзвичайно високими показниками витрат на ресурси і енергію. В умовах швидкого зростання світових цін на енергоносії така економіка гарантовано приречена на збитковість [6].

Інтенсивність інноваційних процесів у сучасному світі спряла загостренню екологічних проблем. Навантаження антропогенної діяльності на навколишнє природне середовище з ряду напрямів наближується до критичної межі, за якою неминуче порушується нормальний коловорот речовин у природі. Тільки інноваційним шляхом можливо гармонізувати відносини між людиною і природою. Науково-технічні досягнення дозволяють зменшити використання невідновних ресурсів [7].

Культура споживання та принципи сталого розвитку формують нову, індустріальну галузь економіки, що наближається до функціонування, коригуючи технології та обладнання, що розвиває усвідомлене стратегічне бачення вищого керівництва сталого розвитку.

Це прискорює тенденції формування екологічної свідомості як у



споживачів, так і у виробників. Саме впровадження екологічних інновацій (еко-інновацій) стає запорукою сталого розвитку підприємств, що поєднує потреби промисловості.

За аналізом літературних джерел відзначено принципи сталого розвитку для розкриття впливу екологічних інновацій на забезпечення сталого розвитку:

- принцип обережності: збереження сучасного стану навколишнього середовища як перешкоди безповоротним чи небезпечним змінам;
- принцип «передбачати і запобігати»: більш дешевий, менш ризикований підхід, ніж ліквідація збитків навколишньому середовищу;
- принцип балансу між ресурсами і забрудненням: використання ресурсів у рамках масштабів регенеративної здатності екосистем; контроль над обсягом надходжень забруднень і відходів у рамках асиміляційного потенціалу екосистем;
- принцип збереження природного багатства на нинішньому рівні: недопущення чи зменшення втрат природно-ресурсного потенціалу;
- принцип «забруднювач платить»: повна вартість екологічного збитку повинна бути компенсована користувачем (споживачем).

Вказані принципи розкривають екологічні інновації в межах встановлених умов і функцій, їх здатність сприяти забезпеченню принципів стійкого розвитку як окремих промислових підприємств, так і реального сектора економіки в цілому. Активізація та популяризація відновлювальних альтернативних технологій інтенсифікується у різних дослідженнях наукових організації та на промислових підприємствах провідних країн і має значну інвестиційну та фінансову підтримку. Крім цього формується новий індустріальний сектор екологічної промисловості, який визначає стратегічні перспективи економічного та технологічного розвитку на мікро- мезо- та макрорівнях. Такі тенденції зумовлюють однозначність в перенесенні акцентів на еко-інновації для уможливлення взаємодії між промисловими контрагентами у глобальному масштабі [8].

Аналіз екологічного компонента сталого розвитку індустриальних підприємств повинен включати економічну оцінку витрат на опанування інноваційних технологій у сфері природоохоронної діяльності, використання енерго- і матеріалозберігаючих технологій.

Необхідність організації управління підприємством на засадах сталого розвитку підприємства ілюструють його ознаки (рис. 1.1) [9]:



Рисунок 1.1 – Ознаки сталого розвитку підприємства

Екологічна система має прямий і опосередкований вплив на економічну підсистему. Прямий вплив полягає в застосуванні ресурсозберігаючих технологій, що дає можливість скоротити витрати підприємства. Опосередкований вплив на економічну підсистему пояснюється дотриманням екологічних стандартів, застосуванням екологічно безпечних технологій з плином часу, що стає одним з чинників, що підвищує лояльність громадськості та споживачів до даного підприємства. Екологічна підсистема

опосередковано взаємодіє з соціальною, адже екологічний стан підприємства та навколишнього середовища визначає умови праці персоналу. Чинники довкілля впливають на функціонування підприємства як відкритої системи, спрямованість і сила якого є змінними в часі, в той же час підприємство змінює зовнішнє середовище, адже досягнення ним сталого розвитку може поступово зумовлювати сталий розвиток систем вищого рівня[9]. Модель сталого розвитку підприємства наведено на рис.1.2[9].

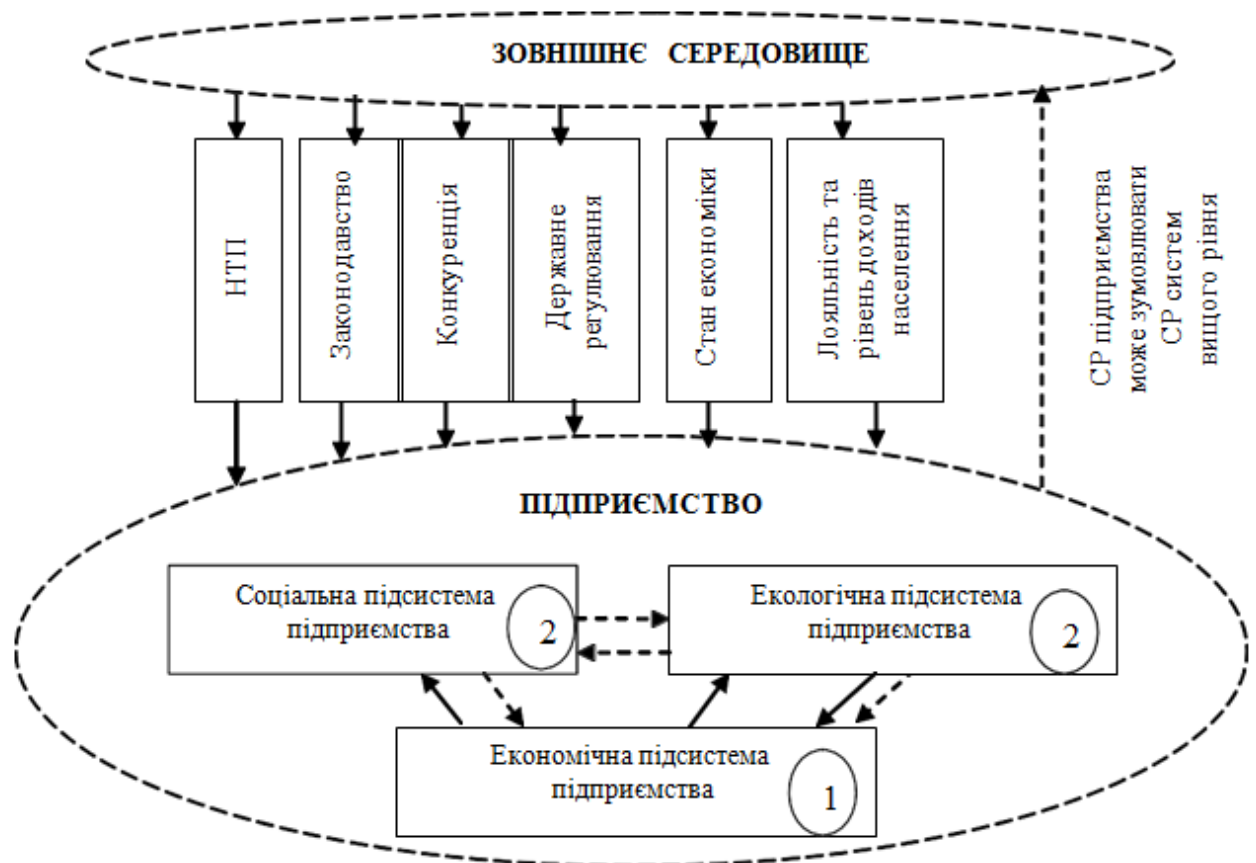


Рисунок 1.2 – Модель сталого розвитку підприємства

## 1.2 Інноваційні технології захисту навколишнього середовища

Конвертерне виробництво сталі є одним з найбільш ресурсоємних металургійних переділів і характеризується утворенням великої кількості відходів виробництва, основну долю яких складають шлаки, шлами і пил. Аналіз фізико-хімічних властивостей показує, що пил, уловлений від

конвертерного виробництва, містить значну частку заліза, що є підставою для його рециклінгу в агломераційне виробництво.

Нині назріла необхідність реконструкції газовідвідних трактів з впровадженням сучасних технічних рішень з метою зниження кінцевої запиленої конвертерного газу до 40-50 мг/м<sup>3</sup>, збільшення інтенсивності продування киснем, зменшення аж до ліквідації пилогазових викидів.

Принципово існуючі газовідвідні тракти конвертерів аналогічні і включають:

- парові котли-охолоджувачі конвертерних газів (ОКГ) з газощільною мембранною конструкції квадратного перерізу. Ущільнення зазору між горловиною конвертера в робочому положенні і кесоном ОКГ здійснюється підйомно-опускними "спідницями" круглого перерізу, що охоплюють в нижньому положенні горловину конвертера;

- систему очищення;
- нагнітач.

Нині назріла необхідність реконструкції газовідвідних трактів з упровадженням сучасних технічних рішень з метою[10]:

- збільшення інтенсивності продування киснем;
- зменшення/ліквідація пилогазових викидів в цех при продуванні і повалці конвертерів;
- зниження кінцевої запиленої конвертерного газу до 40-50 мг/м<sup>3</sup>;
- утилізації конвертерного газу в якості палива.

З метою досягнення поставлених задач Укр«НТЦЕнергосталь» запропоновано замінити існуючі газовідвідні тракти новими сучасними конструкціями.

Модернізація газовідвідного тракту включає в себе наступні етапи [11,12]:

- модернізований водотрубний котел-охолоджувач конвертерних газів (ОКГ) з многократною примусовою циркуляцією;

- переведення газовідвідних трактів конверторів місткістю 160 тон на роботу без допалювання монооксиду вуглецю дозволить збільшити інтенсивність продування киснем до  $650 \text{ нм}^3/\text{хв}$  і забезпечити очищення газу до кінцевого змісту пилу  $50 \text{ мг}/\text{м}^3$ . Крім того, застосування цієї системи дає можливість збирати і використати очищений газ в якості палива, що важливо в умовах значного дорожчання енергоносіїв, а також дозволить знизити викид діоксиду вуглецю в атмосферу приблизно на 355 тис. т/рік;

- модернізоване мокре газоочищення. Газоочищення двоступінчате. Перший ступінь газоочищення - вузол попереднього охолодження (ВПО). Корисний об'єм ВПО і зрошуваного газоходу (скрубера) забезпечує необхідний процес теплообміну для ефективного охолодження газу, а також попереднє очищення газу. Другий ступінь газоочищення - високонапірна прямокутна труба Вентурі з регульованим перерізом горловини. У трубі Вентурі відбувається подальше охолодження і остаточне очищення конвертерного газу, після чого в краплеуловлювачі відділяється велика частина краплинної вологи, що відноситься газовим потоком. На існуючому газоході "чистого" газу встановлюються двауловлювача для відведення з газового потоку залишкової плівкової вологи перед нагнітачем. Уловлена волога з уловлювача відводиться в існуючі водовідвідними;

- нагнітач. Модернізований ротор встановлюється в існуючий корпус нагнітача без заміни приводу. При необхідності заміни зношених нагнітачів, фірма VentiOeldi (Німеччина) пропонує нові, з натиском 22-23 кПа, при збереженні існуючого електродвигуна. Новий нагнітач дозволяє направити кондиційний газ ( $\text{CO} \geq 30\%$ ) на використання. При збереженні існуючого нагнітача для збору газу потрібний додатковий низьконапірний нагнітач.

Оптимізація пиловидалення може бути здійснена при модернізації апаратів мокрого очищення. Рішення ґрунтоване на широко поширеній в доменному виробництві технології кільцевих скрубєрів. Скрубєри такого типу відрізняються оптимізованими схемами організації прямих потоків води і газу при мінімальній кількості циклів, що робить процес очищення ефективнішим.



Система розрахована на мінімальний знос і, фактично, не вимагає обслуговування.

Скрубер є двоступінчатою колоною. У секції підготовки відбувається попереднє охолодження газу і його насичення водою. Секція має відкриту конструкцію з центральним розташуванням форсунок особливої конструкції, що виключає засмічення. Форсунки підбираються з урахуванням високої ефективності того, що розпиляло водяних крапель і можливості експлуатації в умовах високої запиленості і потоків насиченої води. Для прискореного випару розмір крапель, що виходять з форсунок, мінімальний. Схема розташування форсунок розраховується виходячи з оптимального розподілу води по перерізу скрубера. У другому ступені відбуваються змочування пилу (для уловлювання часток великої фракції) і додаткове охолодження газу. Тут вода і газ примусово подаються через регульований кільцевий проміжок, що створює високу турбулентність і інтенсифікує відділення пилу. Система циркуляції води другого ступеня до форсунок першого ступеня зводить споживання води до мінімуму.

Кільцевий проміжок регулюється гідравлічним механізмом, що забезпечує виняткову надійність конструкції. На виході скрубера зміст вологи в газі не перевищує  $250 \text{ г/Нм}^3$

Така вологість негативно позначається на роботі і ресурсі витяжних вентиляторів, газового резервуару, факельної установки і іншого розташованого нижче по лінії устаткування. Найчастіше зміст вологи знижується до  $4\text{-}5 \text{ г/Нм}^3$  за допомогою осьового краплевідбійника. Він забезпечує видалення крапель вологи з ефективністю до  $99,6\%$ , що є оптимальним показником. Проте, стоки води нижче по лінії часто бувають забрудненими, що говорить про необхідність підвищення міри очищення для виключення викидів пилу з факельних установок і застою брудної води в конденсатовідвідник. Розроблено новий триступінчатий краплевідбійник, що забезпечує ефективність до  $99,96\%$ . Він складається з направляючого впускного апарату, краплевідбійника з лопатками і вузла коагуляції. Застосування

краплевідбійника нової конструкції знижує зміст краплинної вологи в конвертерному газі нижче рівня  $0,1 \text{ г/Нм}^3$ , що підвищує чистоту повітропроводів, знижує викиди пилу від факельних установок і працюючих на конвертерному газі котлів, забезпечує безперебійну роботу витяжних вентиляторів, спрощує обслуговування резервуарів конвертерного газу і їх очищення від шламу[13]. Схему модернізованого скрубера наведено на рис.1.3 [13].

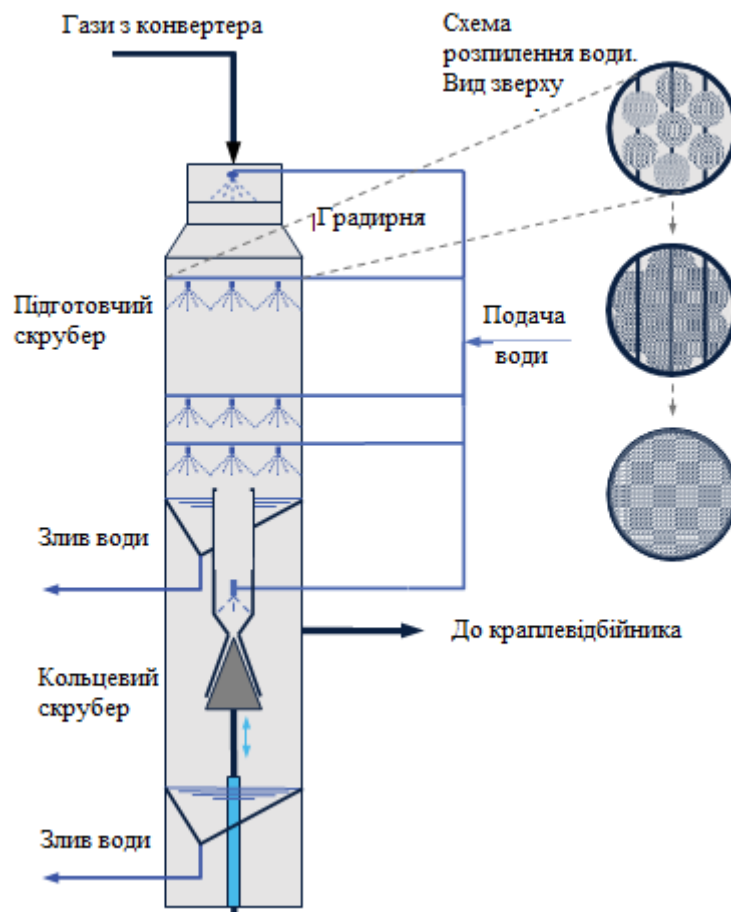


Рисунок 1.3 – Схема модернізованого скрубера

Беручи до уваги недоліки мокрого очищення, а саме - заростання апаратів газоочищення щільними вапняними відкладеннями та громіздке шламове господарство, в якості альтернативи рекомендовано застосування сухого очищення. Основним очисним апаратом при системі без допалювання є тканинний фільтр. Для підтримки необхідної температури газів перед тканинним фільтром їх пропускають через випарний скрублер або підключають

термостати, регулюючі подачу додаткового повітря. Вміст пилу після тканинного фільтру складає  $10 \text{ мг/м}^3$ . Схема газового тракту за конвертерами при сухому очищенні наведено на рис. 1.4 [14]

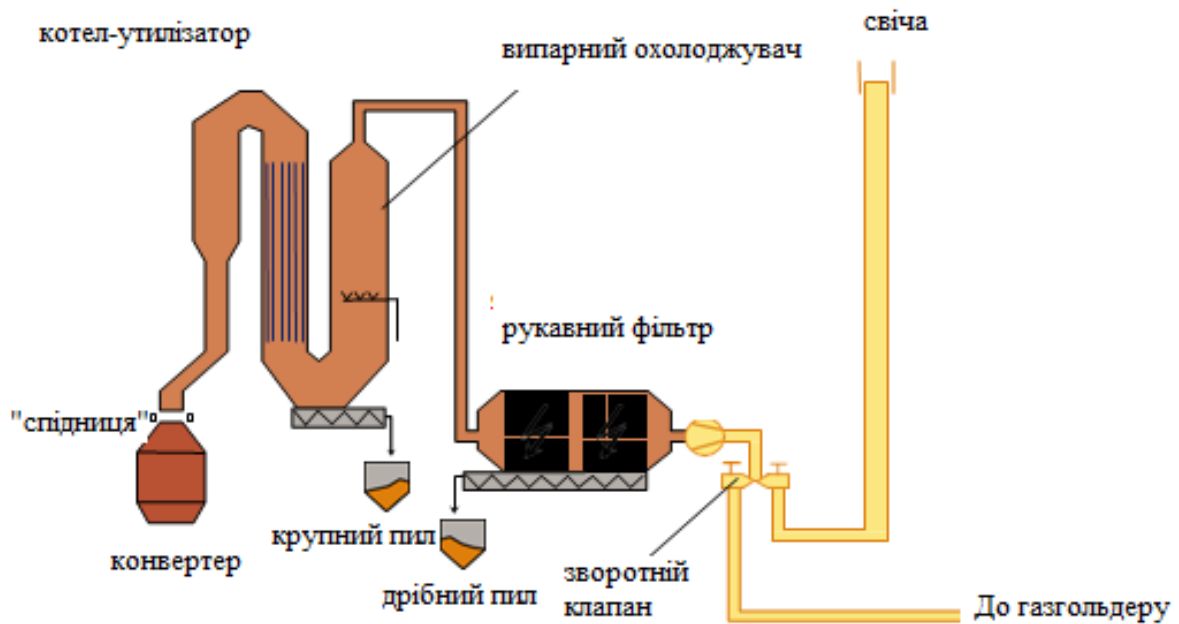


Рисунок 1.4 - Схема газового тракту за конвертерами при сухому очищенні

Таким чином, у першому розділі магістерської кваліфікаційної роботи наведено принципи сталого розвитку, обґрунтовано необхідність переходу промислових підприємств на концепцію сталого розвитку, виконано аналіз екологічної складової сталого розвитку промислових підприємств, обґрунтовано сутність інновацій у сфері технологій захисту навколишнього середовища. Також у розділі наведено сучасні технології модернізації газівідвідного тракту та технологічного обладнання конвертерного виробництва.

## 2 ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Технологія киснево-конвертерного виробництва

Виплавка сталі в конвертері, що є футерованим циліндром з горловиною для подання матеріалів і забезпечений механізмом повороту, ґрунтована на продуванні рідкого чавуну окислювальним газом.

Показники роботи конвертерного цеху значною мірою залежать від місткості і числа конвертерів, а також від системи їх роботи. Зі збільшенням місткості помітно знижується питома маса устаткування, металоконструкцій і питомих капіталовкладень на 1 тонні сталі, що виплавляється [15].

Шихтовку, тобто визначення витрати на плавку чавуну і лому, шлакотворних, феросплавів і інших матеріалів, в сучасних цехах проводять за допомогою ЕОМ на підставі даних, що вводяться в неї, про склад чавуну і інших шихтових матеріалів, температуру чавуну, параметри сталі, що виплавляється, і деяких інших. При цьому витрата лому, що є охолоджувачем плавки, визначають на підставі розрахунку теплового балансу плавки, збільшуючи або зменшуючи витрату так, щоб забезпечувалася задана температура металу у кінці продування, а витрата вапна – так, щоб забезпечувалася необхідна основність шлаку.

Лом завантажують в конвертер совками об'ємом 20-110 м<sup>3</sup>; їх заповнюють ломом в шихтовому відділенні цеху і доставляють до конвертерів рейковими візками. Завантаження ведуть через отвір горловини конвертера, перевертаючи совок за допомогою напівпортальної машини, або мостового крану, або підлогової (що переміщається по робочому майданчику цеху) машини. Рідкий чавун заливають в нахилений конвертер через отвір горловини за допомогою мостового крану із заливального ковша, який зазвичай вміщує усю порцію чавуну (до 300 тони і більше), що заливається. Заливальні ковші з чавуном доставляють до конвертерів з міксерного або переливання відділень. Для завантаження сипких шлакотворних матеріалів конвертер обладнаний індивідуальною автоматизованою системою. З розташованих над конвертером

витратних бункерів, де зберігається запас матеріалів, їх за допомогою електровібраційних живильників і вагових дозаторів видають в проміжний бункер, а з нього матеріали по похилій трубі зсипаються в конвертер через горловину. При цьому система забезпечує завантаження сипких продуктів без зупинки продування за програмою, яка розроблена заздалегідь або задається оператором з пульта управління конвертером. Періоди плавки в кисневому конвертері включає наступні періоди:

1) завантаження лому. Сталевий лом в кількості до 25-27 % від маси металеві шихти завантажують в нахилений конвертер совками. Об'єм совків досягає 110 м<sup>3</sup>, його розраховують так, щоб завантаження забезпечувалося одним – двома совками, оскільки при більшому числі зростає тривалість завантаження і плавки в цілому. Завантаження триває 2-4 хв. Іноді з метою прискорення шлакоутворення після завантаження лому або перед нею в конвертер вводять частину вапна, що витрачається на плавку;

2) заливка чавуну. Рідкий чавун при температурі 1300 до 1450°C заливають в нахилений конвертер одним ковшем впродовж 2-3 хв.;

3) продування. Після заливки чавуну конвертер повертають у вертикальне робоче положення, вводять згори фурму і включають подання кисню, починаючи продування. Фурму спочатку продування для прискорення шлакоутворення встановлюють в підвищеному положенні, а через 2-4 хв її опускають до оптимального рівня. Впродовж першої третини тривалості продування в конвертер двома – трьома порціями завантажують вапно. Впродовж продування протікають наступні основні металургійні процеси:

- окислення складових рідкого металу киснем, що вдувається; окислюється надмірний вуглець, а також увесь кремній, близько 70% марганцю і трохи (1-2%) заліза. Газоподібні продукти окислення вуглецю (СО і трохи СО<sub>2</sub>) видаляються з конвертера через горловину (конвертерні гази, що відходять), інші оксиди переходять в шлак;

- шлакоутворення. З перших секунд продування починає формуватися основний шлак з продуктів окислення складових металу (SiO<sub>2</sub>, MnO, FeO,



$\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) і вапна ( $\text{CaO}$ ), що розчиняється в них, а також з оксидів, що вносяться міксерним шлаком, іржею сталевому лому і футеруванням, що розчиняється. Основність шлаку по ходу продування зростає у міру розчинення вапна, досягаючи 2,7-3,6;

- дефосфорація і десульфурація. У основний шлак, що утворюється, віддаляється частина шкідливих домішок, що містяться в шихті, - велика частина (до 90%) фосфору і трохи (до 30%) сірки;

- нагрів металу до потрібної перед випуском температури (1600-1660 °C) за рахунок тепла, що виділяється при протіканні екзотермічних реакцій окислення складових рідкого металу;

- розплавлення сталевому лому за рахунок тепла екзотермічних реакцій окислення; зазвичай воно закінчується впродовж перших 2/3 тривалість продування;

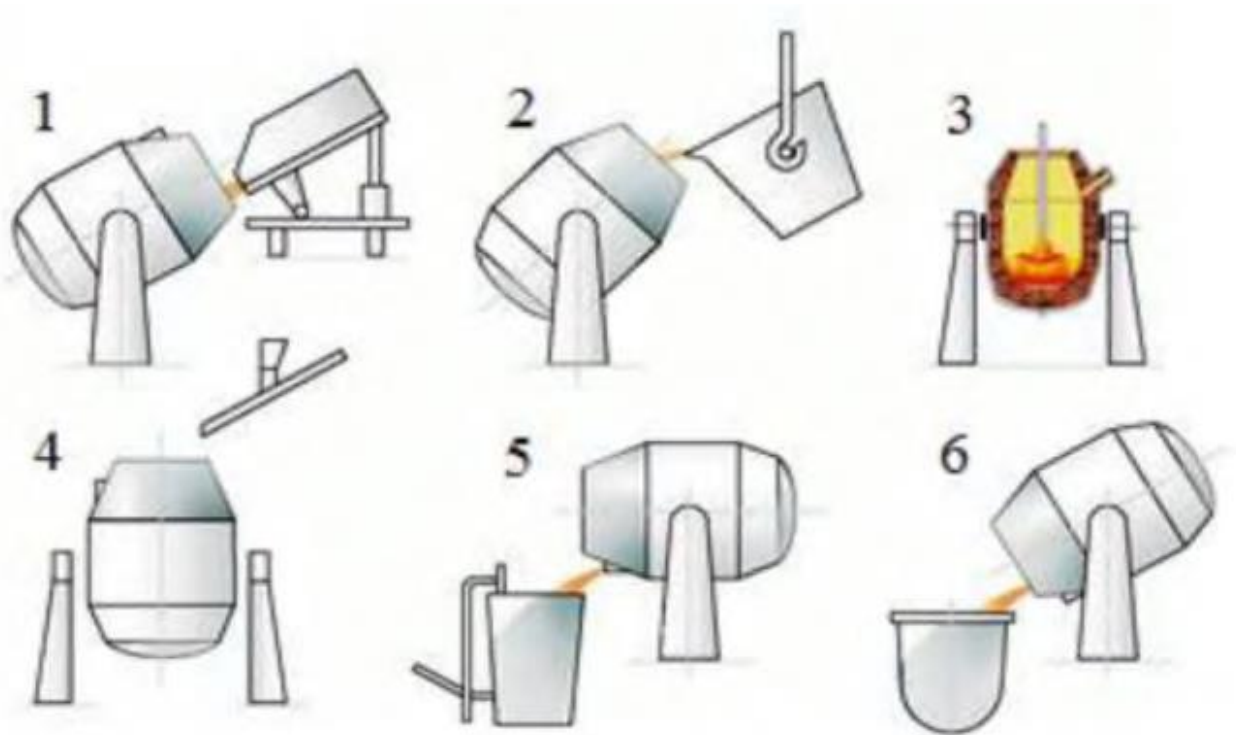
- відбір проб, вимір температури, очікування аналізу, коригування. Продування необхідно закінчити у той момент, коли вуглець буде окислений до потрібного в марці, що виплавляється, став зміст; до цього часу метал має бути нагрітий до необхідної температури, а фосфор і сірка видалені до допустимих для цієї марки стали меж. Момент закінчення продування, що приблизно відповідає необхідному вмісту вуглецю в металі, визначають по кількості витраченого кисню, по тривалості продування, за свідченнями ЕОМ. Закінчивши продування, з конвертера виводять фурму, а конвертер повертають в горизонтальне положення. Через горловину конвертера відбирають пробу металу, посилаючи її на аналіз, і заміряють температуру термопарою занурення. Якщо за результатами аналізу і виміру температури параметри металу відповідають заданим, плавку випускають. У разі невідповідності проводять операції, що коригують: при надмірному вмісті вуглецю проводять короткочасну додувку для його окислення; при недостатній температурі роблять додувку при підвищеному положенні фурми, що викликає окислення заліза з виділенням тепла, що нагріває ванну; при надмірно високій температурі

в конвертер вводять охолоджувачі – легковагий лом, руду, вапняк, вапно і тому подібне, роблячи витримку після їх введення впродовж 3-4 хв.;

- Випуск. Метал випускають в сталерозливний ківш через лютку без шлаку. Такий випуск виключає перемішування металу з шлаком в ковші. Випуск триває 3-7 хв.;

- Злив шлаку в шлаковий ківш (чашу) ведуть через горловину, нахиляючи конвертер в протилежну від лютки сторону (злив через лютку недопустимий, оскільки шлак розчинятиме футерування лютки). Злив шлаку триває 2-3 хв. Загальна тривалість плавки в 100-350т конвертерах складає 40-50 хв[16].

Схематичне зображення роботи конвертера зображено на рис.2.1[17].



1- завантаження сталевих скрапу; 2 – заливка розплавленого чавуну; 3- продування киснем; 4 – завантаження вапна та залізної руди з початком продування та під час плавлення; 5 – випуск металу; 6- злив шлаку.

Рисунок 2.1 – Схема роботи конвертера

## 2.2 Джерела та характеристика викидів конверторної плавки

Екологічні аспекти промислової безпеки кисневих конвертерів, в частині пиловиділення, включають такі питання, як дослідження механізму пилоутворення при продуванні металевого розплаву газоподібним киснем, розробку заходів по зменшенню винесення пилу з конвертера, використання раціональних методів газоочищення, використання вторинних ресурсів, зокрема залізовмісних шламів.

Під час продування рідкого металу в конвертері газоподібним киснем утворюється конвертерний газ, що відходить, вихід якого змінюється залежно від витрати кисневого дуття, складу чавуну і лому, складу шихти і вапна, висоти фурми над рівнем ванни. Конвертерний газ містить значну кількість плавильного пилу, дрібні частки заліза і його оксидів, дрібні фракції руди, винищити і інших добавок, що завантажуються в процесі плавки і підхоплюваних при поданні потоком газів, що виходять з конвертера.

Відомо, що час продування ванни киснем умовно можна розділити на три періоди:

- початковий період, під час якого відбувається переважне окислення шлакотворних домішок металу;
- період інтенсивного зневуглицювання (основний період), що триває до деякого критичного вмісту вуглецю в металі;
- завершальний період, особливістю якого є зменшення швидкості вигорання вуглецю і різке збільшення швидкості вигорання заліза [18].

Кількість пилу, що виділяється з металеві ванни, міняється по ходу плавки, по-різному по різних періодах плавки і істотно залежить, зокрема, від концентрації вуглецю. Величина питомих викидів пилу, при верхньому продуванні, складає 13-22 кг/т сталі. Середня концентрація пилу в газі змінюється в межах 160-350 г/м<sup>3</sup>, у момент добавки сипких матеріалів ця величина короткочасно зростає до 1500 г/м<sup>3</sup> [19].

Аналіз розмірів пилових часток в конвертері, наведених у табл.2.1 свідчить про різні показники пиловиділення за технологічними операціями і, отже, про особливості пилоутворення в різні періоди плавки. Крім того, при продуванні пилові викиди містять велику кількість залізного пилю, що проявляється у вигляді "бурого диму", виділення якого супроводжує процес зневуглицювання розплаву. Найбільша кількість "бурого диму" утворюється в перший період плавки [20].

Хімічний та дисперсний склад конверторного пилю наведені у табл.2.2 та табл.2.3 [21].

Таблиця 2.1 - Доля часток різного розміру в конвертерному газі, мкм

Розмір часток, мкм	≥ 5 мкм	0,3-5 мкм	0,1-0,3 мкм	≤ 0,1 мкм
Технологічна операція:				
При завантаженні металобрухту, %	88	4	-	0,6
При верхньому продуванні, %	68	55	23	-
При випуску сталі, %	99	90	-	9

Таблиця 2.2 – Хімічний склад конверторного пилю

Час від початку плавки, год	Масова доля, %				
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	SiO <sub>2</sub>	C
0.02-0.07	55,4	5,5	31,9	2,0	0,7
0.07-0.18	12,6	78,8	2,5	1,5	0,6
0.18-0.25	18,8	64,6	4,1	1,2	0,5

Таблиця 2.3 – Дисперсний склад конверторного пилю

Розмір часток, мкм	0-3	3-60	60-150	Більше 150
Масова доля, %	74	9	4	13

Вірогідним механізмом пилоутворення при продуванні є процеси диспергування поверхневого шару розплаву в результаті термічного удару при вибуху крапель і пухирів, а також при зриві окисних плівок, викинутих з ванни металу при кипінні. Згідно з цією гіпотезою максимальна термічна напруга, що виникає в поверхневому шарі металу мікроскопічної товщини, перевищує міцність рідкого металу на розрив зблизька погано змочуваних металом мікроскопічних графітованих включень. Поблизу цих включень при термічному ударі в металі з'являються мікроскопічні тріщини, зростання і злиття яких призводить до утворення мікроскопічних крапель металу, тобто до утворення пилу. Кисень, проникаючи в тріщини, що утворилися, реагує із залізом і лусочками графіту, оксид вуглецю, що утворюється, викликає відрив мікроскопічних частинок поверхневої плівки (лусочок) від маси металу і викид їх в газову фазу[22].

Дослідженнями встановлена зміна концентрації плавильного пилу і її залежність від ряду технологічних параметрів : періоду продування, подання сипких матеріалів, інтенсивності дуття, конструкції фурми, тиску газів, що відходять, режиму шлакоутворення, висоти фурми над ванною, температури металу і так далі. Проведені в ІЧМ дослідження на 1,5-тонному конвертері дозволили підтвердити, що інтенсивність пилоутворення змінюється по ходу плавки і її умовно можна поділити на три періоди[23].

У зв'язку з меншою енергоємністю киснево-конверторного способу виробництва сталі в порівнянні з мартенівським способом частка виплавки конверторної сталі безперервно збільшується.

При продувці рідкого чавуну киснем у конверторі відбувається вигорання з чавуну вуглецю та інших домішок. Утворений продукт згорання (конверторний газ) містить в основному оксид вуглецю (85-90%), діоксид вуглецю (8-14%), а також невелику кількість кисню, азоту та деяких інших речовин, наприклад, сірки. За даними, кількість сірки, що виходить з газової фази за плавку, складає 7-8% від вмісту сірки в шихті [24].

В зоні зіткнення кисню з чавуном в конверторі розвивається висока

температура (до 3000°C), при якій випаровуються оксиди заліза та інших домішок. Ці пари разом з конверторним газом охолоджуються та конденсуються, утворюючи велику кількість маленьких часток пилу. Окрім цього, конверторний газ виносить маленькі частинки руди, вапна та інших домішок, що завантажуються в конвертор у процесі плавки. На 1 т плавки в конверторі утворюється до 90 м<sup>3</sup> газу та до 20 кг пилу. Запиленість конверторного газу при виході з конвертора може досягати 250 мг/м<sup>3</sup>[25].

Конвертерне виробництво сталі є одним з найбільш ресурсоємних металургійних переділів і характеризується утворенням великої кількості відходів виробництва, основну долю якого складають шлаки, шлами і пил. Аналіз фізико-хімічних властивостей цих відходів показує, що вони містять досить велику кількість компонентів, корисних не лише для різних металургійних переділів, але і для інших галузей промисловості. На металургійних підприємствах з технологією сухого очищення конвертерних газів утворюється багато пилу, кількість якого залежить від режимів продування в конвертері, хімічного і гранулометричного складів шихтових і шлакоутворюючих матеріалів і складає 13-32 кг/т[26]. В результаті окислення FeO Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> при відведенні газів з допалюванням розвиваються високі температури. Пилоподібні частки мають чорно-бурий колір і різну крупність. Кількість часток розміром менше 0,5 мкм складає приблизно 20%, 0,5-1 мкм - 65% і >1 мкм - 15%.

В ході продування хімічний склад пилу змінюється. При переробці низько фосфористих чавунів зміст заліза в пилу зростає з 50% до 70%, зміст СаО знаходиться в межах 5-14%, SiO<sub>2</sub> - 0.7-3%, фосфору - 0,16-0,3%, сірки - 0-0,12%. Найбільша кількість пилу виділяється приблизно в середині продування. При відведенні газів без доступу повітря пилоподібні частки мають в основному сірий колір і більші розміри.

Окрім основного газоочищення є ряд аспіраційних установок, що забезпечують пиловловлювання на всіх стадіях організації виробництва сталі:

- установка очищення газу неорганізованих викидів конвертера призначена для уловлювання, транспортування і очищення пилогазоповітряної суміші, що утворюється на різних стадіях технологічного процесу;

- установка очищення газу відділення переливання, десульфурації чавуну і спомпування шлаку призначена для очищення пилогазоповітряної суміші, що уловлюється в зонах переливання чавуну з чавуно возних ковшів в заливальні ковши, десульфурації чавуну та спомпування шлаку

- установка очищення газу відділення подання сипких і феросплавів призначена для очищення запилених пилогазоповітряної суміші, що видаляється від бункерів в місцях завантаження, від укриттів в місцях перевантаження і вивантаження сипких і феросплавів в конвертери і сталерозливні ковші;

- установка очищення газу агрегату "ківш-піч" (АКП) призначена для очищення газу, що поступає з двох областей всмоктування: первинний відходить газ з двох позиції АКП і запиленого повітря, що поступає з установки подання феросплавів і легуючих присадок в ківш.

Необхідно відмітити, що велика частина пилу має розмір до 0,4 мм, що сприяє її розсіюванню вітром при зберіганні на відкритих майданчиках. Крім того, пил практично не піддається змочуванню, що також ускладнює її транспортування і зберігання. Тому навіть просте переведення пилу в компактний стан за допомогою спікання, брикетування і так далі забезпечує значний екологічний ефект [26].

Хімічний склад пилу, що утворюється на різних ділянках технології систематизований у табл.2.4 [26].

Переваги та недоліки пилу, що утворюється на різних ділянках технологічної лінії наведені у табл.2.5.

На підставі результату хімічного аналізу пил можна умовно розділити на дві основні групи - залізовмісний і вапняний.

Таблиця 2.4 - Хімічний склад пилу, що утворюється на різних ділянках конвертерного виробництва сталі

Компонент пилу	Ділянка утворення пилу та вміст у ній основних компонентів, %			
	Неорганізовані викиди кисневого конвертора	Перелив і десульфурація чавуну	Подача сипких та феросплавів до кисневого конвертора	АКП
Fe	34,7	58,7		21,7
FeO	8,0	9,6		2,2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	39,1	70,9	5,4	28,2
SiO <sub>2</sub>	4,9	1,9	7,9	8,6
CaO	19,7	5,7	51,8	21,5
MgO	3,2	2,1	6,3	12,1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,7	0,4	3,2	3,9
MnO	0,8	0,2	8,9	5,3
TiO <sub>2</sub>	0,09	0,03	0,08	0,11
P	0,05	0,03	0,05	0,02
S	0,55	0,57		2,21
Zn	4,30	0,31		2,00
Pb	0,43	0,02		0,20
K <sub>2</sub> O	1,08	0,18	0,22	2,46
Na <sub>2</sub> O	0,76	0,18	0,28	2,92

До складу усього пилу, окрім ділянки сипких, входять цинк і свинець, зміст яких збільшується з підвищенням доли лому в шихті конвертерної плавки і має тенденцію до накопичення. За фізичними характеристиками залізовмісний пил можна використати в агломераційному виробництві.



Таблиця 2.5 – Якісна характеристика пилу, що утворюється на різних ділянках технології

Технологічна ділянка	Переваги	Недоліки
Перелив і десульфурація чавуну	Fe>55%	
Подача сипких та феросплавів до кисневого конвертора	CaO≈50%, відсутність S, Zn, Pb	Fe (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <6%)
АКП	MgO>12%, CaO>20%	S=2,2%, Zn=2,0%, Pb=0.2%

Проте введення пилу в агломераційну шихту необхідно обмежувати, оскільки вторинне використання цинковмісних матеріалів призводить до накопичення цинку у футеруванні доменних печей і прискорення її руйнування [27]. Вапняний пил за участю вивантаження, зберігання і транспортування сипких і феросплавів зважаючи на відсутність цинку і свинцю може бути використана для закладки в штабель. Цинк і свинець завжди містяться в металобрухті - обов'язковій частині шихти конвертерного виробництва, і внесення цих елементів в ході рециклінгу залізовмісного пилу не приведе до істотної зміни ходу конвертерної плавки [28]. Зважаючи на підвищений вміст MgO в пилі АКП і CaO в пилі газоочищення сипких раціональне їх використання після грудкування і брикетування в якості флюсуєчих добавок при виплавці сталі [26].

### **2.3 Існуючі технологічні схеми знешкодження відхідних газів конвертерного виробництва**

Для уловлювання та відводу конвертерного газу над горловиною конвертора є ковпак (кесон), з'єднаний з відповідним газопроводом. Пристрій газовідвідних трактів залежить від того, чи здійснюється допалювання оксиду вуглецю чи ні. За цією ознакою газовідводи поділяються на три групи:

- системи з підсмоктуванням повітря через зазор між конвертором та

котлом-охолоджувачем і повним допалюванням СО в останньому;

- системи без доступу повітря в газовий тракт та без допалювання СО;
- системи з частковим допалюванням СО в котлі-утилізаторі. Якщо

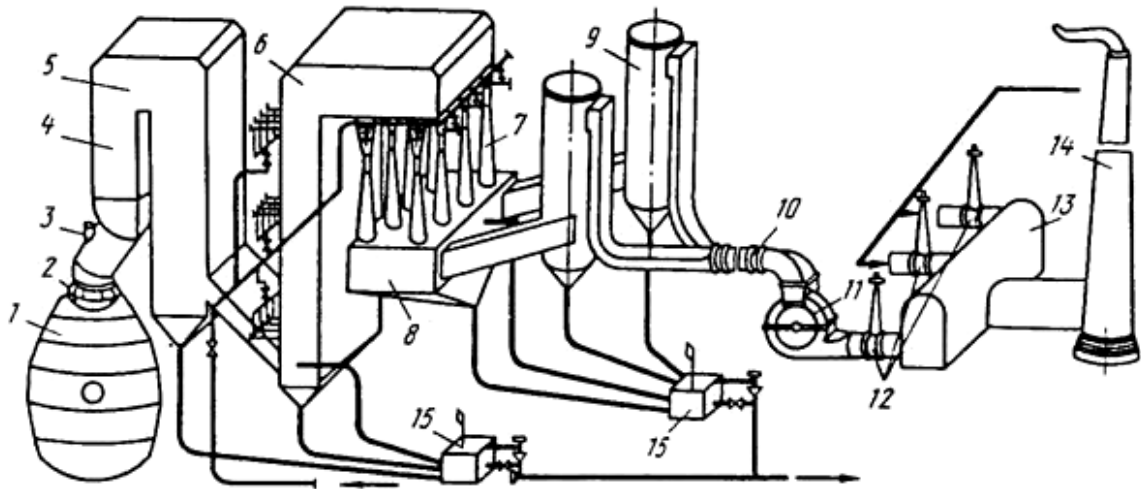
допалювання СО здійснюється, то в зазорі між горловиною конвертора та газовідходом створюється за допомогою димососа розрідження, внаслідок чого газ не виділяється в довкілля, а в газовідвід підсмоктується повітря, кисень якого перетворює СО в СО<sub>2</sub>. В цьому випадку в газі присутній СО<sub>2</sub>, що забезпечує вибухобезпечність процесу його подальшої очистки та видалення.

Для очистки конверторного газу від пилу використовують скрубери Вентурі, електрофільтри та тканинні фільтри. На рис. 2.2 та 2.3 наведено схеми очистки конверторного газу в скруберах Вентурі в пристроях з повним допалюванням оксиду вуглецю. За цими схемами конверторні газу підлягають очистці в котлі-утилізаторі, вбудованому в підйомно-опускному газоході, та в скрубери прямокутного перерізу, звідки їх потім направляють у блок з восьми встановлених на інерційний краплеобмежувач труб Вентурі з колоподібним перерізом горловини. Остаточна очистка газу відбувається в двох паралельно розташованих відцентрових скруберах. В цьому випадку забезпечується очистка газу до кінцевого пиловмісту близько 70 мг/м<sup>3</sup>.

Використання електрофільтрів у пристроях без допалювання оксиду вуглецю неможливе, бо ці фільтри вибухонебезпечні через виникнення спалахів при електричних пробоях.

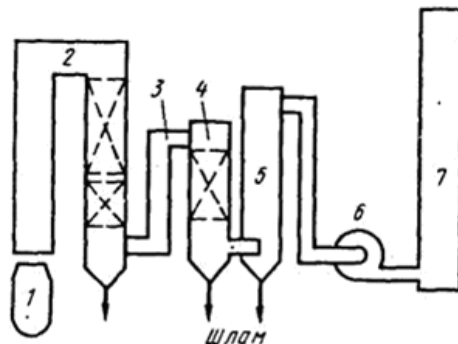
Мокра очистка газів від пилу без допалювання СО відбувається в апаратах, аналогічних використаним пристроям для очистки з повним допалюванням СО.

Система відводу газу (рис. 2.4) складається з кесона, що переходить в камін, в який вбудовано котел-утилізатор, де газ охолоджується до 800-900°C; доохолодження його йде спочатку в горизонтальному газоході за рахунок наведення води, а потім в низьконапірних трубах Вентурі з регульованим перерізом горловини; коагуляція малодисперсного пилу відбувається у високонапірній трубі Вентурі [29].



1 – конвертор; 2 – кесон; 3 – розріз для фурми; 4 – підйомний газохід з радіаційними поверхнями котла-утилізатора; 5 – газохід з конвективними поверхнями і економайзер; 6 – скруббер; 7 – блок труб Вентурі; 8 – інерційний краплеобмежувач; 9 – відцентрові скрубери; 10 – дросельний клапан; 11 – димосос; 12 – засувка; 13 – лежак; 14 – димова труба; 15 – гідро затвор

Рисунок 2.2 – Схема відводу та очистки конверторного газу з допалюванням оксиду вуглецю



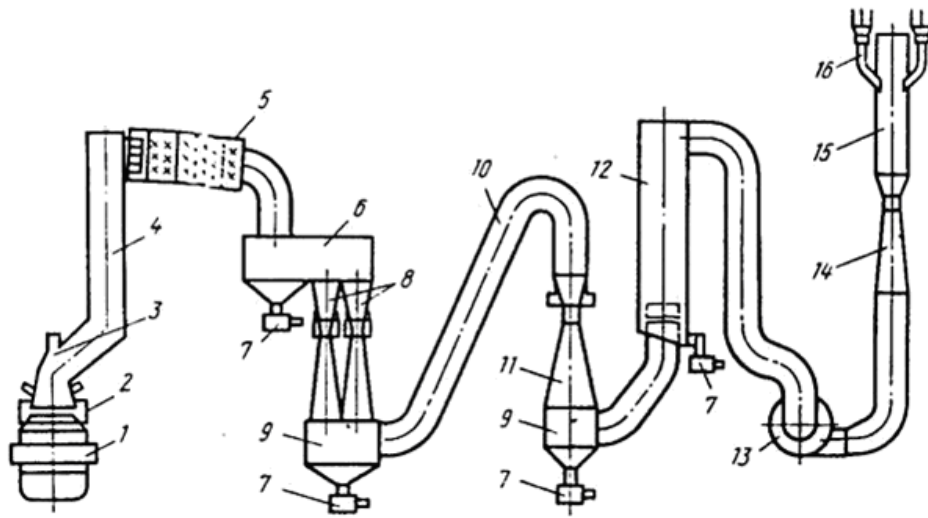
1 – конвертор; 2 – котел-охолоджувач; 3 – зрошувальний газохід; 4 – скрубери Вентурі; 5 – циклон-краплеобмежувач; 6 – димосос; 7 – димова труба

Рисунок 2.3 – Схема охолодження та очистки конверторних газів з повним допалюванням оксиду вуглецю

Очистка від великих краплин шламу відбувається в інерційних пило- та водообмежувачах, на яких встановлені труби Вентурі; фінальна очистка газу від великого пилу відбувається у відцентровому скрубери.

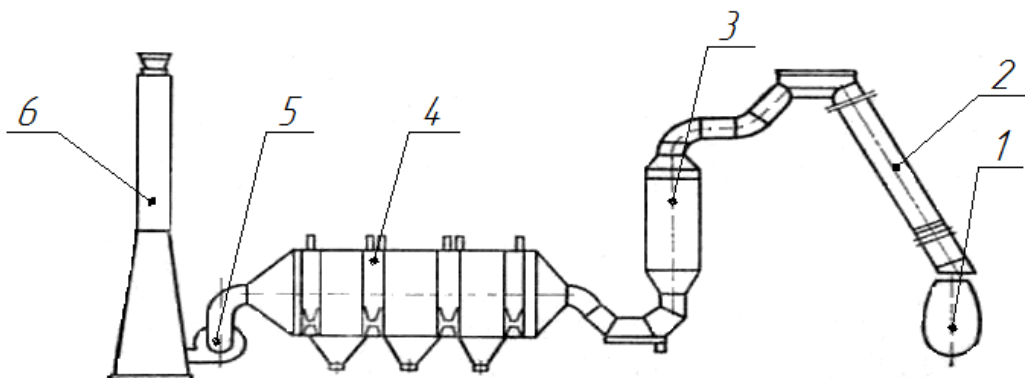
Використання сухого способу , що відходять від конверторних печей в електрофільтрах (рис. 2.5) можливо за умови зволоження газів, що поступають до системи очищення.

Сухі електростатичні фільтри працюють стійко при певній температурі і вологості вхідного газу. Для забезпечення цих умов сухому електрофільтру передуює стабілізатор-вежа висотою до 20 м і діаметром 4-5 м, обладнана соплами для тонкого розпилу води. Кількість води, що вприскується, регулюється автоматично по температурі газів на виході з сухого фільтру, рівною 140-160 °С [30].



1 – конвертор; 2 – водоохолоджувальна муфта; 3 – киснева фурма; 4 – котел-утилізатор; 5 – зрошувальний газохід; 6 – колектор запиленого газу; 7 – гідрозатвор; 8 – труби Вентурі; 9 – інерційний пило- та водоуловлювач; 10 – газохід; 11 – труба-коагулятор; 12 – відцентровий скруббер; 13 – димосос; 14 – труба Вентурі; 15 – димова труба; 16 – допалювальний пристрій

Рисунок 2.4 – Система очистки конверторного газу без допалювання оксиду вуглецю



1 - конвертер; 2 - котел-утилізатор; 3 - порожнистий випарний скруббер; 4 - сухий пластинчастий електрофільтр; 5 - димосос; 6 - димова труба

Рисунок 2.5 - Схеми очищення конвертерних газів в сухих електрофільтрах

Для видалення пилу, що збирається на осаджувальних електродах, користуються магнітним імпульсом; крім того, на підвісній рамі укріплені молоточки, які збивають пил. Коронуючі електроди очищають від пилу електромагнітним вібратором. Ефективність очищення фільтрів залежить від якості роботи молоточків і вібраторів.

Через такі фільтри можна пропускати продукти згорання, що містять не більше 5-6% CO.

Осаджувальні електроди очищаються від пилу безперервно; видача ж пилу з електрофільтру в пилозбірний бункер відбувається періодично між продуваннями. Пил видається у вагони шнековими живильниками, забезпеченими зволожувачами.

Експлуатуються також мокрі електрофільтри, їх включають в газовий тракт, після котлів-утилізаторів і скрубера. Через електрофільтр проходять продукти згорання конвертерних газів. Після котла-охолоджувача з примусовою циркуляцією газу при  $1100^{\circ}\text{C}$  поступають в два паралельні скрубери (злегка нахилених до горизонту) і потім при  $77^{\circ}\text{C}$  - у вертикальний трубчастий електрофільтр. Фільтр складається з 1000 труб. Труби є осаджувальними електродами; усередині кожної труби є коронуючий електрод. Робоча напруга складає 40 кВ.

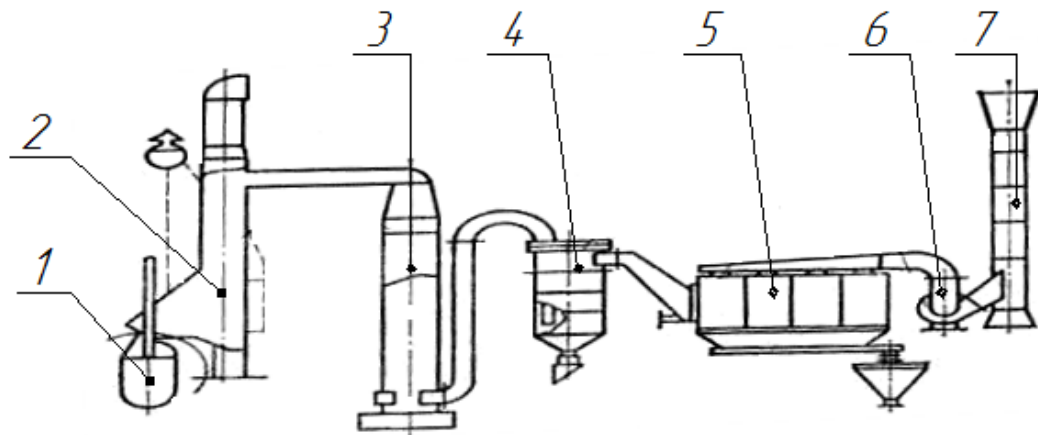
Фільтрація в тканинних фільтрах вимагає ретельного підбору тканини, що фільтрує. Конвертерний пил, неоднорідний по хімічному складу, утворює на тканині шар, через пори якого проникає лише газ. Цей шар сприяє подальшій коагуляції часток.

На рис. 2.6 приведена схема очищення конвертерних газів в тканинних фільтрах.

Для підтримки необхідної температури газів перед тканинним фільтром їх пропускають через випарний скрубер або підключають термостати, регулюючи подачу додаткового повітря. Вміст пилу після тканинного фільтру, як вже зазначалося раніше, складає  $10\text{ мг/м}^3$ .

Очищення тканинних фільтрів здійснюється струшуванням. При роботі в

системах з повним спалюванням газів струшування і перемикання секцій відбувається автоматично у будь-який момент продування.



1- конвертер; 2 – котел-утилізатор; 3 - акумулятор; 4 - випарний скруббер; 5 - тканинний фільтр; 6 - димосос; 7 - димова труба

Рисунок 2.6 - Схема очищення димових конвертерних газів в тканинних фільтрах

## 2.4 Обґрунтування обраної схеми очищення конвертерного газу

Конвертерні гази на виході із конвертерів мають температуру за умовою  $1100^{\circ}\text{C}$  та містять близько 85 - 90 % CO у своєму складі. Це дозволяє ефективно використовувати їх у якості енергоносія для виробництва пари. Як вже зазначалося раніше, конвертерний газ містить значну кількість плавильного пилю, дрібні частки заліза і його оксидів, дрібні фракції руди, вапняку і інших добавок, що завантажуються в процесі плавки і підхоплюваних при поданні потоком газів, що виходять з конвертера. Кількість пилю, що виділяється з металевої ванни, міняється по ходу плавки, по-різному по різних періодах плавки і істотно залежить, зокрема, від концентрації вуглецю.

### 2.4.1 Доцільність системи відводу газів без допалювання CO

Використання систем без допалювання CO найбільш доцільно для відводу газів. Окрім того, в результаті використання даної системи відводу

газів на виході отримаємо газ, що представлятиме собою високоякісне технологічне та енергетичне паливо. Також не варто забувати про той факт, що у зв'язку з впровадженням в промисловість великовантажних конвертерів місткістю до 400 тонн сталі і пов'язаним з цим збільшенням об'єму кисню, що вдувається, кількість газів, що виділяються, значно зростає. Їх допалювання призводить до зростання об'єму продуктів згорання і істотно збільшить габаритні розміри і вартість усієї установки. У цих умовах раціональною є система без допалювання СО [31].

Ефективність існуючих способів очищення приблизно однакова: всіма методами можна понизити концентрацію пилу в газах до  $50 \text{ мг/м}^3$ , що відповідає санітарним вимогам, тобто міра очищення складає 98-99 %.

Але існує ряд недоліків при використанні мокрої схеми очищення в скруберах Вентурі:

- великі енерговитрати (опір скрубера Вентурі біля  $7 \text{ кПа}$ );
- громіздке шламове господарство;
- важкі умови роботи вентиляторів: вологий газ, що проходить через лопатки сприяє налипанню на них пилу, що і ускладнює роботу, а також веде до виходу устаткування з строю;
- газовий тракт піддається корозії [29]

Суха схема очищення для даного виробництва передбачає застосування електрофільтру або рукавного фільтру. Беручи до уваги те, що газовий потік є вибухонебезпечним через наявність СО, а також те, що електрофільтр має низку недоліків, зокрема необхідність спеціального обладнання, яке забезпечує високу напругу, висока металоємність, великі габарити, особливі заходи електробезпеки, необхідність забезпечення спеціального пристрою для видалення пилу з внутрішньої поверхні корпусу фільтра. Але найбільш вагомою причиною відмови від застосування електрофільтру в технологічній схемі є той факт, що електрофільтр не може використовуватися для вловлення вибухонебезпечних газових викидів, в т.ч і такі, що можуть набути такої властивості в процесі обробки.

Для очищення газових викидів для даного виробництва було прийняте рішення застосувати рукавний фільтр, оскільки даний агрегат має значні переваги, зокрема економічність в роботі, менші габарити при тій же продуктивності, простота конструктивного оформлення (закріплення рукавів проводиться з одного боку у верхній частині фільтру, що гранично спрощує заміну рукавів), підвищена ремонтпридатність фільтру, ефективність імпульсної регенерації, що здійснюється за допомогою клапанів з підвищеною швидкістю, розміщення на відкритому повітрі з укриттям тільки верхньої частини фільтру.

При виборі схеми газоочистки враховані тенденції розвитку конвертерного виробництва, які пов'язані з інтенсифікацією вловлювання пилу, де перспективними схемами очищення слід вважати системи відведення газу без допалювання CO і використання рукавного фільтру в якості основного газоочисного апарату.

Таким чином, у другому розділі магістерської кваліфікаційної роботи описано технологічний процес плавлення чавуну у кисневих конвертерах, проаналізовано фізичні та хімічні викиди, їх дисперсний та хімічний склад відповідно; наведені існуючі технології очищення промислових газів конвертерного виробництва, зроблено аналіз та обґрунтовано вибір найбільш доцільної схеми очищення викидів.



### 3 ПРОЄКТНИЙ РОЗДІЛ

#### 3.1 Проектування основного та допоміжного обладнання технології очистки газів

Вихідні дані для проектування обладнання системи газоочистки киснево-конвертерного виробництва наведені в завданні до магістерського проекту. Проектується система очищення конвертерного газу без допалювання СО.

##### Параметри конвертерного газу попереду котла-утилізатора:

Температура конвертерного газу попереду котла-охолоджувача складає  $t_{гк}=1700\text{ }^{\circ}\text{C}$

Витрата газу за нормальних умов  $65\ 000\ \text{м}^3/\text{год} = 18,05\ \text{м}^3/\text{с}$ .

Згідно проведеному теоретичному аналізу (п.2.1), газу, що відходять від конверторів мають склад, що наведений у таблиці 3.1

Таблиця 3.1- Хімічний склад конвертерного газу, що приймається до розрахунку

Складові газу	%
СО	85
СО <sub>2</sub>	11
N <sub>2</sub>	2
O <sub>2</sub>	2
Всього	100

Запиленість газу попереду котлу-утилізатору складає  $160\ \text{г}/\text{м}^3$ .

Дисперсний склад пилу, прийнятий для розрахунку наведений в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Дисперсний склад пилу, що приймається до розрахунку

Розмір часток, мкм	<3	3-60	60-250	>250
Вміст ,%	65	7	9	19

Відповідно до даних з табл. 3.2 медіанний діаметр становить  $d_m = 3$  мкм.

Обираємо по початковій температурі і витраті газу охолоджувач конвертерних газів ОКГ-180, який має такі технічні характеристики [32]:

- витрата конвертерних газів через охолоджувач – 110000  $\text{м}^3/\text{год}$ ;
- температура газів попереду котлу - 1700  $^{\circ}\text{C}$  ;
- температура газів за котлом - 420  $^{\circ}\text{C}$ ;
- температура живильної води 104  $^{\circ}\text{C}$ ;
- гідравлічний опір 300 Па;
- паропроодуктивність – до 138 т/год.

#### **Розрахунок випарного скрубера типу АКРП.**

Температура газів попереду випарного скрубера - 420  $^{\circ}\text{C}$ ;

Запиленість газів попереду випарного скрубера приймається з урахуванням того, що в котлі-утилізаторі осідає 15 % пилу - 136  $\text{г}/\text{м}^3$ ;

Приймаємо тиск води попереду форсунок  $P_p = 0,4$  МПа;

Початкова температура води  $t_n = 20$   $^{\circ}\text{C}$ ;

Втрата тиску в скрубери (АКРП) 900 Па [33].

Густина газової суміші за нормальних умов розраховують за формулою(3.1),  $\text{кг}/\text{м}^3$ :

$$\rho_0 = \frac{0,01}{22,4} \sum R_i O_j \cdot M_{R_i O_j} \quad (3.1)$$

де  $M$  - молекулярна маса компонента газової суміші,  $\text{кг}/\text{моль}$ .

$$\rho_0 = \frac{0,01}{22,4} \cdot (85 \cdot 28 + 11 \cdot 44 + 2 \cdot 28 + 2 \cdot 32) = 1,332 \text{ кг}/\text{м}^3$$

Визначаємо густину газів за робочих умов (перед випарним скруббером) за формулою(3.2), кг/м<sup>3</sup>:

$$\rho_t = \rho_0 \frac{273(B \pm P_r)}{101,3(273 + t_r)}, \quad (3.2)$$

де  $P_r$  – тиск газу попереду випарного скруббера, кПа;

$B$  - барометричний тиск, кПа;

$t_r$  – температура газу після котла-утилізатора, °С.

$$\rho_t = 1,332 \frac{273(100 - 0,25 - 0,3)}{101,3(273 + 420)} = 0,515 \text{ кг/м}^3$$

Секундна витрата газу за робочих умов визначаємо за формулою(3.3), м<sup>3</sup>/с :

$$Q_t = \frac{Q_0 \cdot \rho_0}{\rho_t}, \quad (3.3)$$

$$Q_t = \frac{18,05 \cdot 1,332}{0,515} = 46,68 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Визначаємо ентальпію конвертерного газу на вході в випарний скруббер ( $t_1 = 420$  °С) за формулою (3.4), кДж/м<sup>3</sup>:

$$i_1 = 0,01 \sum_1^n i_i \cdot a_i \quad (3.4)$$

де  $i_i$  – ентальпія  $i$ -го компонента газової суміші, кДж/м<sup>3</sup>.

$$i_1 = 0,01 \sum_1^n 559,96 \cdot 85 + 816,98 \cdot 11 + 580,64 \cdot 2,0 + 554,18 \cdot 2,0 = 588,53 \text{ кДж/м}^3$$

Приймаємо, що на виході із скруббера газ має температуру  $t_r = 200$  °С. Ентальпія газу при даній температурі складе:

$$i_2 = 0,01 \sum_1^n 261,5 \cdot 85 + 357,5 \cdot 11 + 260 \cdot 2,0 + 267,1 \cdot 2,0 = 272,142 \text{кДж/м}^3$$

Кількість теплоти, що передається у скрубєрі від газу до водирозрахуємо за формулою (3.5), кВт:

$$Q_m = Q_0(i_1 - i_2) \quad (3.5)$$

$$Q_m = 18,05 \cdot (588,53 - 272,142) = 5710,803 \text{кВт}$$

Приймаємо коефіцієнт випару в скрубєрі рівним 1, кінцева температура води  $t_2=100^\circ\text{C}$ , тобто відбувається повне випаровування.

Середня температура газу в скрубєрі розраховується за формулою (3.6),  $^\circ\text{C}$ :

$$t_{cp} = \frac{t_1 + t_2}{2} \quad (3.6)$$

$$t_{cp} = \frac{420 + 200}{2} = 310^\circ\text{C}$$

Ентальпія насиченої пари при середній температурі газу в скрубєрі  $i_{п}=3090 \text{кДж/кг}$  [34].

Ентальпія води при початковій температурі  $t_1=20^\circ\text{C}$ ,  $i_{н}=83,9 \text{кДж/кг}$ ; при кінцевій температурі  $t_2=100^\circ\text{C}$ ,  $i_{к}=419,1 \text{кДж/кг}$  [34].

Витрату води в скрубєрі обчислимо за формулою (3.7), кг/с:

$$M_B = \frac{Q_m}{\varphi(i_{п} - i_{н}) + (1 - \varphi)(i_{к} - i_{н})} \quad (3.7)$$

$$M_B = \frac{5710,803}{(3090 - 83,9)} = 1,9 \text{кг/с.}$$

Питома витрата води на зрошування розраховується за формулою (3.8),  $\text{кг/м}^3$ :

$$m = \frac{M_B}{Q_t} \quad (3.8)$$

$$m = \frac{1,9}{46,68} = 0,041 \text{ кг/м}^3.$$

Вологість газу на виході зі скрубера за нормальних умов за формулою (3.9), г/м<sup>3</sup>:

$$f_{02} = f_{01} + \frac{\varphi \cdot M_B}{Q_0} \quad (3.9)$$

де  $f_{01}$  – вологість газу на вході в скрубер, г/ м<sup>3</sup>.

$$f_{02} = \frac{1,9 \cdot 10^3 \cdot 3600}{65000} = 105,23 \text{ г/м}^3$$

Витрата газу на виході із скрубера за робочих умов обчислюється за формулою (3.10), м<sup>3</sup>/с:

$$Q_{t2} = Q_0 \left( 1 + \frac{f_0}{0,804} \right) \frac{101,3 \cdot T_2}{273 \cdot P_2} \quad (3.10)$$

$$Q_{t2} = 18,05 \left( 1 + \frac{0,10523}{0,804} \right) \frac{101,3 \cdot (273+200)}{273 \cdot (100-0,25-0,3-0,9)} = 36,35 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Густина газу на виході зі скрубера обчислюється за формулою (3.11), кг/м<sup>3</sup>:

$$\rho_{r2} = \frac{\rho_0 + f_0}{1 + \frac{f_0}{0,804}} \cdot \frac{273 \cdot P_r}{101,3 \cdot T_r} \quad (3.11)$$

$$\rho_{r2} = \frac{1,332 + 0,10523}{1 + \frac{0,10523}{0,804}} \cdot \frac{273 \cdot (100 - 0,25 - 0,3 - 0,9)}{101,3 \cdot (273 + 200)} = 0,714 \text{ кг/м}^3$$

Середня різниця температур між газом і водою в випарному скрубєрі розраховується за формулою (3.12), °C :

$$\Delta t = \frac{(t_1 - t_k) - (t_2 - t_H)}{\ln \frac{t_1 - t_k}{t_2 - t_H}} \quad (3.12)$$

$$\Delta t = \frac{(420 - 200) - (200 - 20)}{\ln \frac{420 - 100}{200 - 20}} = 69,52^\circ\text{C}$$

Об'єм скрубєра обчислюється за формулою (3.13), м<sup>3</sup>:

$$V_k = \frac{1000 \cdot Q_m}{K_0 \cdot \Delta t} \quad (3.13)$$

де  $K_0$  – об'ємний коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м<sup>3</sup>·°C)

Обчислюємо  $K_0$  за формулою (3.14):

$$K_0 = (17,4 + 115m \cdot U_\Gamma) \rho_{\Gamma 2} \cdot U_\Gamma \quad (3.14)$$

де  $U_\Gamma$  – швидкість газу на виході із скрубєра, приймаємо для АКРП  $U_\Gamma = 5$  м/с [33].

$$K_0 = (17,4 + 115 \cdot 0,041 \cdot 5) \cdot 0,714 \cdot 5 = 146,28$$

Обчислюємо об'єм скрубєра:

$$V_k = \frac{1000 \cdot 5710,803}{146,28 \cdot 69,52} = 561,568 \text{ м}^3$$

Визначаємо діаметр скрубєра визначається за формулою (3.15), м:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_\Gamma}{\pi \cdot U_\Gamma}} \quad (3.15)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 46,68}{3,14 \cdot 5}} = 3,44 \text{ м}$$

Обираємо стандартний скруббер типу АКРП діаметром 3,8 м (висота 19,6 м) [33].

Проводимо перерахунок швидкості газу в скруббері для стандартного діаметру за формулою (3.16), м/с:

$$U_{\Gamma} = \frac{4 \cdot Q_{\Gamma}}{n \cdot \pi \cdot d^2} \quad (3.16)$$

де  $n$  – кількість одиниць апаратів газоочищення, шт;

$d$  – стандартний діаметр скруббера, м.

$$U_{\Gamma} = \frac{4 \cdot 46,68}{3,14 \cdot 3,8^2} = 4,12 \text{ м/с}$$

Проводимо перерахунок складу газу на виході зі скруббера з урахуванням абсолютної вологості газів за нормальних умов на виході зі скруббера,  $f_{O_2} = 105,23 \text{ г/м}^3$  за формулою (3.17), %:

$$r_i = \frac{r_{ic}}{1 + \frac{f_{O_2}}{0,804}} \quad (3.17)$$

де  $r_{ic}$  – вміст компонента в сухому газі, %

$$r_{CO} = \frac{85}{1 + \frac{0,10523}{0,804}} = 75,16 \text{ %};$$

$$r_{CO_2} = \frac{11}{1 + \frac{0,10523}{0,804}} = 9,73 \text{ %};$$

$$r_{N_2} = \frac{2}{1 + \frac{0,10523}{0,804}} = 1,999 \text{ %}, \text{приймаємо } 2 \text{ %};$$

$$r_{O_2} = \frac{2}{1 + \frac{0,10523}{0,804}} = 2,0 \text{ %};$$

Кількість водяних парів у газі після випарного скруббера обчислюємо за

формулою (3.18), %:

$$r_{H_2O} = 100 - \sum_1^n r_i \quad (3.18)$$

$$r_{H_2O} = 100 - (75,16 + 9,73 + 2,0 + 2,0) = 11,11 \%$$

Отже робимо перерахунок густини газової суміші за нормальних умов на виході після АКРП за формулою (3.1):

$$\rho_0 = \frac{0,01}{22,4} \cdot (75,16 \cdot 28 + 9,73 \cdot 44 + 2 \cdot 28 + 2 \cdot 32 + 11 \cdot 18) = 1,269 \text{ кг/м}^3$$

Запиленість попереду рукавного фільтру приймається з урахуванням того, що у випарному скрубєрі під час охолодження газу втрачається близько 32% пилу. Таким чином, запиленість перед рукавним фільтром складає 31,2 г/м<sup>3</sup>.

#### **Розрахунок рукавного фільтру**

Розраховуємо густину газів за робочих умов, температура газу на вході в рукавний фільтр 200 °С за формулою (3.2):

$$\rho_t = 1,269 \frac{273(100-0,25-0,3-0,9)}{101,3(273+200)} = 0,713 \text{ кг/м}^3$$

Витрату газу на вході в рукавний фільтр за робочих умов розраховуємо за формулою (3.19), м<sup>3</sup>/год:

$$Q_t = \frac{Q_0 \cdot \rho_0}{\rho_t} \quad (3.19)$$

$$Q_t = \frac{18,05 \cdot 1,269}{0,713} = 32,13 \text{ м}^3/\text{с} = 115668 \text{ м}^3/\text{Год}$$



Визначаємо необхідну площу фільтрування при питому газовому навантаженні  $q=1,5 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{хв}$  за формулою (3.20):

$$F_{\phi} = \frac{Q_t}{60 \cdot q} \quad (3.20)$$

$$F_{\phi} = \frac{115668}{60 \cdot 1,5} = 1285,2 \text{ м}^2$$

Обираємо найбільш підходящий за результатами розрахунків фільтр марки ФРІР-1200, технічна характеристика якого наведена нижче у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Технічні характеристики ФРІР-1200

Параметр	Значення
1. Продуктивність по газу, щоочищається, тис.м <sup>3</sup> /год.	до 100000
2. Питомегазовенавантаження, м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> хв	0,7-1,8
3. Площафільтрації, м <sup>2</sup>	1200
4. Гідравлічнийопірфільтру, кПа не більше	2000

Обчислимо фактичне газове навантаження на фільтр за формулою (3.21):

$$q_{\phi} = \frac{V}{F_{\phi}} \quad (3.21)$$

$$q_{\phi} = \frac{32,13}{1200} = 0,0267 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с} = 1,6 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{хв})$$

В якості фільтрувальної тканини обрано оксалон, параметри якого наведено у табл.3.4.

Таблиця 3.4 - Параметри фільтрувального матеріалу - оксалону

Фільтрувальний матеріал, артикул	4949 METEOR
Склад: волокно сітка	Оксалон Базальт
Вага	902-998 г/м <sup>2</sup>
Товщина	1.5-2.0 мм
Повітропроникність	119-166 л/дм <sup>2</sup> /хв
Розривний внутрішній тиск	6985 кПа
Температура: постійна короткочасна	290 °С 350 °С
Розривне зусилля: породільне поперечне	min 400 кг min 200 кг
Застосування	фільтрація газів

Регенерацію рукавів імпульсним продуванням здійснюється шляхом подачі імпульсів стислого повітря всередину рукава Але, оскільки газ, що очищується, є вибухонебезпечним, тоді приймаємо, що регенерація фільтру відбувається шляхом подачі імпульсів стислого інертного газу (наприклад, азотом).

Визначаємо гідравлічний опір корпусу рукавного фільтру за формулою (3.22), Па:

$$\Delta P_{\kappa} = \frac{\zeta \omega_{\text{вх}}^2 \rho_{\Gamma}}{2} \quad (3.22)$$

де  $\zeta$ - коефіцієнт гідравлічного опору корпусу; для правильно сконструйованих рукавних фільтрів зазвичай складає 1,5 – 2,0, приймаємо 1.5 [34];

$\rho_{\Gamma}$ - густина газу за робочих умов, г/м<sup>3</sup>;

$\omega_{\text{вх}}$  - швидкість газу, що приймається, у вхідному патрубку фільтру;  $\omega_{\text{вх}} = 8$  м/с.

$$\Delta P_k = \frac{1,5 \cdot 8^2 \cdot 0,713}{2} = 34,224 \text{ Па}$$

Приймаємо гідравлічний опір рукавного фільтру  $\Delta P=2500$  Па, після досягнення цього значення проводять регенерацію рукавів.

Опір фільтрувальної перегородки фільтру розраховуємо за формулою (3.23), Па :

$$\Delta P_\phi = \Delta P - \Delta P_k \quad (3.23)$$

$$\Delta P_\phi = 2500 - 34,224 = 2462,776 \text{ Па}$$

Визначаємо тривалість періоду між регенераціями за формулою (3.24)

$$t_\phi = \frac{\left(\frac{\Delta P_\phi}{\mu \omega_\phi}\right)^{-A}}{B \omega_\phi z_1} \quad (3.24)$$

де,  $\mu$  - динамічний коефіцієнт в'язкості газу, Па·с ;

$\omega_\phi$ - швидкість фільтрування, м/с ;

$z_1$  - початкова запиленість газу, кг/м<sup>3</sup> ;

A і B – постійні фільтрування.

Розраховуємо постійні фільтрування A та B відповідно за формулами (3.25) та (3.26):

$$A = \frac{670 \cdot 10^{-6} \cdot (1 - \varepsilon_n)^2 \cdot \varepsilon_{mk}^3 h_0^{\frac{2}{3}}}{d_m^{1,175} \cdot \varepsilon_n^3} \quad (3.25)$$

де  $\varepsilon_n$  - пористість шару пилу, обчислюється за формулою (3.27);

$\varepsilon_{mk}$ - пористість тканини (оксалон (сітка – базальт)), долі од.;  $\varepsilon_{mk} = 0,55$ ;

$d_m$  – середній медіанний розмір частинок пилу, м;

$h_0 = 7,2 \cdot 10^5$ , Па[35].

$$\varepsilon_n = 1 - 79 \cdot d_m^{0,47} \quad (3.27)$$

$$\varepsilon_n = 1 - 79 \cdot (3,0 \cdot 10^{-6})^{0,47} = 0,8;$$

$$A = \frac{670 \cdot 10^{-6} \cdot (1-0,8)^2 \cdot 0,55^3 \cdot (7,2 \cdot 10^5)^{2/3}}{(3 \cdot 10^{-6})^{1,175} \cdot 0,8^3} = 2,16 \cdot 10^5;$$

$$B = 817 \cdot \frac{(1-\varepsilon_n)}{d_m^2 \cdot \varepsilon_n^3 \cdot \rho_n} \quad (3.26)$$

$$B = \frac{817 \cdot (1-0,8)}{(3 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 0,8^3 \cdot 2700} = 13,1 \cdot 10^9;$$

Розрахуємо динамічний коефіцієнт в'язкості газу за формулою (3.28):

$$\mu = \mu_0 \frac{273 + C'}{T + C'} \left( \frac{T}{273} \right)^{1,5} \quad (3.28)$$

де  $\mu_0$  - динамічний коефіцієнт в'язкості газу при нормальних умовах, Па·с [34];

$C'$  - постійна Сезерленда [34];

$T$  - абсолютна температура, К,  $T = 273 + t_r$ .

$$\mu_{CO_2} = 13,7 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{273+254}{273+200+254} \cdot \left( \frac{273+200}{273} \right)^{1,5} = 22,65 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с};$$

$$\mu_{CO} = 16,6 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{273+100}{273+200+100} \cdot \left( \frac{273+200}{273} \right)^{1,5} = 24,64 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с};$$

$$\mu_{H_2O} = 10,0 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{273+961}{273+200+961} \cdot \left( \frac{273+200}{273} \right)^{1,5} = 19,62 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с};$$

$$\mu_{O_2} = 20,3 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{273+131}{273+200+131} \cdot \left( \frac{273+200}{273} \right)^{1,5} = 30,97 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}.$$

$$\mu_{N_2} = 17,0 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{273 + 114}{273 + 200 + 114} \cdot \left( \frac{273 + 200}{273} \right)^{1,5} = 25,56,35 \cdot 10^{-6}$$

Динамічний коефіцієнт в'язкості суміші газів обчислюється за формулою (3.29), Па·с:

$$\mu = 0,01 \sum_1^n \mu_i r_i, \quad (3.29)$$

де  $\mu_i$  - динамічні коефіцієнти в'язкості компонентів суміші, Па·с.

$$\mu = 0,01 \cdot 10^{-6} (22,65 \cdot 9,73 + 24,64 \cdot 75,16 + 19,62 \cdot 11 + 30,97 \cdot 2 + \\ + 25,56 \cdot 2) = 24,01 \cdot 10^{-6} \text{Па} \cdot \text{с}.$$

Тривалість періоду між регенераціями:

$$t_{\phi} = \frac{\frac{2462,776}{24,01 \cdot 10^{-6} \cdot 0,0267} - 2,16 \cdot 10^5}{13,1 \cdot 10^9 \cdot 0,0267 \cdot 0,0312} = 352 \text{ с}$$

### **Аеродинамічний розрахунок газовідвідного тракту**

Розраховуємо повний опір газовідвідного тракту (рис. 3.1) за формулою (3.30) Па:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{кот.ут.}} + \Delta P_{\text{АКРП}} + \Delta P_{\text{рук.ф.}} + \Delta P_{\text{газів}} \quad (3.30)$$

де  $\Delta P_{\text{кот.ут.}}$  – опір котла-утилізатора, 300 Па;

$\Delta P_{\text{АКРП}}$  – опір порожнистого скрубера АКРП, 900 Па

$\Delta P_{\text{рук.ф.}}$  – опір рукавного фільтру, Па;

$\Delta P_{\text{газов.}}$  – опір з'єднувальних газоходів, Па.

Опір з'єднувальних газоходів обчислюється за формулою (3.31), Па:

$$\Delta p = \sum_{i=1}^m \Delta p_{mp_i} + \sum_{i=1}^m \Delta p_{mi} \quad (3.31)$$

де  $i$  – номер розрахункової ділянки;

$m$  – кількість розрахункових ділянок.

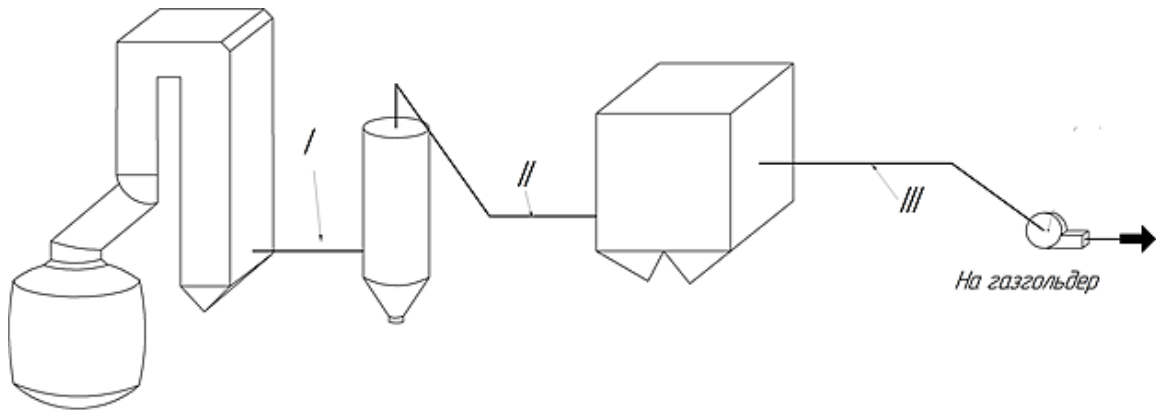


Рисунок 3.1 – Схема розрахунку аеродинаміки газовідвідного тракту

Умовно розділимо газовий тракт на наступні ділянки:

- 1) ділянка 1 - котел-утилізатор-порожнистий випарний скруббер;
- 2) ділянка 2 - порожнистий випарний скруббер-рукавний фільтр;
- 3) ділянка 3 - рукавний фільтр - газгольдер

Визначаємо втрати тиску на тертя за формулою (3.32), Па:

$$\Delta p_{тр.i} = \lambda_i \cdot \frac{l_i}{d_i} \cdot \rho_{гi} \cdot \frac{w^2}{2} \quad (3.32)$$

де  $\lambda_i$  – коефіцієнт гідравлічно готертя.

Для спрощення розрахунків приймаємо, що коефіцієнт гідравлічного тертя дорівнює 0,02.

Для розрахунку діаметрів газоходів швидкість і об'ємна витрата газів обрані таким чином, щоб на всіх ділянках і відгалуженнях газоходу вони були майже однаковими.

Діаметр газоходу визначається за формулою (3.33):

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{w\pi}}, \quad (3.33)$$

де  $w$  – швидкість газів у газоході, м/с.

Втрати тиску на тертя в газоході, рівні сумі втрат на окремих розрахункових ділянках, розраховуються за формулою (3.34), Па:

$$\Delta p_{\text{тр}} = \sum_{i=1}^m \Delta p_{\text{тр}i} \quad (3.34)$$

Втрати тиску на місцеві опори розраховуються за формулою (3.35):

$$\Delta p_{\text{мі}} = \zeta \cdot \rho_{\text{г}i} \cdot \frac{v_i^2}{2}, \text{ Па} \quad (3.35)$$

де  $\zeta_i$  – коефіцієнт місцевого опору, що залежить від його виду, форми трубопроводу, розмірів перешкод на шляху потоку. Значення коефіцієнту в подальших розрахунках приймалися за [36].

Подальші розрахунки діаметру, швидкості, втрат тиску по довжині та місцевих опорів проводяться за вищенаведеними формулами.

### Ділянка 1

Приймаємо швидкість газів у газопроводі рівною 18 м/с[36]. Наступним чином розраховуємо діаметр трубопроводу на ділянці 1:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot 46.68}{18 \cdot 3.14}} = 1.818 \text{ м}$$

Приймаємо стандартний діаметр газопроводу 1,8 м[33].

Визначаємо дійсну швидкість на першій ділянці за формулою (3.36):

$$w = \frac{4Q}{\pi \cdot d^2} \quad (3.36)$$

$$w = \frac{4 \cdot 46.68}{3.14 \cdot 1.8^2} = 18.35 \text{ м/с}$$

Обчислюємо втрати тиску по довжині трубопроводу на першій ділянці ( $l_1 = 200$  м):

$$\Delta P_{\text{тр}1} = 0,02 \cdot 0,515 \frac{200}{1,8} \cdot \frac{18,35^2}{2} = 192,66 \text{ Па}$$

Місцеві опори на ділянці 1:

- вхід в канал
- дифузор

Розраховуємо втрати тиску на місцеві опори на ділянці 1:

$$\Delta P_{\text{м}1} = 1,3 \cdot 0,515 \frac{18,35^2}{2} = 112,73 \text{ Па}$$

Загальні втрати тиску на першій ділянці:

$$\Delta P_1 = 192,66 + 112,73 = 305,39 \text{ Па}$$

## Ділянка 2

Температура газу на виході зі скрубера АКРП за попередніми розрахунками становить  $200$  °С. Витрата газів за робочих умов складає  $32,13$  м<sup>3</sup>/с

Приймаємо швидкість газів у газопроводі рівною  $18,5$  м/с, тоді обчислюємо діаметр трубопроводу на ділянці 2:

$$d_2 = \sqrt{\frac{4Q}{w\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 32,13}{18,5 \cdot 3,14}} = 1,50 \text{ м}$$

Втрати тиску по довжині трубопроводу на другій ділянці складають ( $l_2 = 110$  м):



$$\Delta P_{\text{тр2}} = 0,02 \cdot 0,713 \frac{110}{1,5} \cdot \frac{18,5^2}{2} = 178,94 \text{ Па}$$

Місцеві опори на ділянці 2:

- конфузор
- поворот на  $90^\circ$  (секційне коліно), 3 шт

Втрати тиску на місцеві опори на другій ділянці складають:

$$\Delta P_{\text{м2}} = 1,37 \cdot 0,713 \frac{18,5^2}{2} = 167,12 \text{ Па}$$

Обчислюємо загальні втрати тиску на другій ділянці:

$$\Delta P_2 = 178,94 + 167,12 = 346,06 \text{ Па}$$

### Ділянка 3

Приймаємо, що температура газу після очищення в рукавному фільтрі становить  $170^\circ\text{C}$ .

Розрахуємо витрату газу за робочих умов:

$$Q_t = 18,05 \cdot \frac{(273 + 170)101,3}{(100 - 0,25 - 0,3 - 0,9 - 2,5 - 0,305 - 0,346)273} =$$

$$= 31,203 \text{ м}^3/\text{с} = 112330,8 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Приймаємо швидкість газів у газопроводі  $18,5 \text{ м/с}$ , аналогічним способом розраховуємо діаметр газоходу на третій ділянці складає:

$$d_3 = \sqrt{\frac{4Q}{w\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 31,2}{18,5 \cdot 3,14}} = 1,47 \text{ м}$$

Приймаємо на третій ділянці діаметр газоходу таким як на ділянці 2 – 1,5 м, таким чином швидкість газу у трубопроводі буде дорівнювати:

$$w = \frac{4Q}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 31,2}{3,14 \cdot 1,5^2} = 17,67 \text{ м/с}$$

Таким чином, втрати тиску по довжині трубопроводу на третій ділянці складають ( $l_2 = 22\text{м}$ ):

$$\Delta P_{\text{тр}2} = 0,02 \cdot 0,722 \frac{22}{1,5} \cdot \frac{17,67^2}{2} = 33,06 \text{ Па}$$

Місцеві опори на ділянці 3:

- поворот на  $120^\circ$
- поворот на  $90^\circ$
- дифузор

Обчислюємо втрати тиску на місцеві опори на третій ділянці :

$$\Delta P_{\text{м}2} = 0,68 \cdot 0,722 \frac{17,67^2}{2} = 76,65 \text{ Па}$$

Розраховуємо загальні втрати тиску на третій ділянці:

$$\Delta P_2 = 76,65 + 33,06 = 109,71 \text{ Па}$$

Загальний опір системи газоочищення становить:

$$\Delta P = 0,25 + 0,3 + 0,9 + 2,5 + 0,305 + 0,346 + 0,1097 = 4,71 \text{ кПа}$$

**Вибір тягодуттєвого обладнання.** Тягодуттєве обладнання підбирають на основі аеродинамічного розрахунку газового тракту, що відводить.

Продуктивність димососу приймають з запасом 10% по відношенню до розрахованої кількості газів на вході в димосос з урахуванням присосу повітря по газовому тракту, що відводить, незалежно від температури газів, проте з поправкою на барометричний тиск.  $p_{\text{бар}} = 100$  кПа [24]:

Обчислюємо продуктивність димососу за формулою (3.36), м<sup>3</sup>/год:

$$Q_d = 1,1 \cdot Q_p \cdot \frac{101,3}{p_{\text{бар}}} \quad (3.36)$$

$$Q_d = 1,1 \cdot 112330,8 \cdot \frac{101,3}{100} = 125170,21 \text{ м}^3/\text{год}$$

Розрідження, що створюється димотягом приведене до умов каталогу, по якому вибирається димотяг  $\Delta p_{\text{кат}}$ , розраховується за формулою (3.37), Па [24]:

$$\Delta p_{\text{кат}} = \beta_2 \cdot \Delta p_{\text{заг}} \cdot K_p \quad (3.37)$$

де  $\beta_2$  – коефіцієнт запасу тиску. Приймаємо коефіцієнт запасу тиску  $\beta_2=1,2$  [24];

$\Delta p_{\text{заг}}$  – сумарний опір газовідвідного тракту, отриманий в результаті аеродинамічного розрахунку, Па.

$K_p$  – коефіцієнт перерахунку.

Коефіцієнт  $K_p$  розраховується за формулою (3.38):

$$K_p = \frac{T_{\text{гi}}}{T_x} \cdot \frac{101,3}{p_{\text{бар}}} \cdot \frac{\rho_{0\text{гi}}}{\rho_{0\text{в}}} \quad (3.38)$$

де  $T_x$  – температура, для якої складена характеристика вентилятора (димотяга), К,  $T_x=100+273=373$  К;

$T_{\text{гi}}$  – середня температура газу на останній розрахунковій ділянці газоходу, К.  $T_{\text{гi}}=(170+273)=393$  К;

$\rho_{0\text{гi}}$  – густина газу за нормальних умов на останній розрахунковій ділянці, кг/м<sup>3</sup>;

$p_{\text{бар}}$  – атмосферний тиск, кПа;

$\rho_{0\text{в}}$  – густина повітря за нормальних умов, кг/м<sup>3</sup>.

$$K_p = \frac{393}{373} \frac{101.3}{100.0} \cdot \frac{1.269}{1.293} = 1.05$$

Обчислюємо розрідження, що створюється димотягом:

$$\Delta p_{\text{кат}} = 1,2 \cdot 4710 \cdot 1,05 = 5934,6 \text{ Па}$$

На підставі розрахованих параметрів застосовуємо до установки димосос типу ДН-21 з двигуном А355MLB6. Максимальний тиск, який розвиває димотяг - 6900 Па та максимальна продуктивність складає 138000 м<sup>3</sup>/год [37].

### 3.2 Вибір та розрахунок апаратів по утилізації вловленого пилю

Пил, який осідає в рукавному фільтрі після його регенерації надходить в бункер фільтру. Для вивантаження пилю з бункерів проектуємо системупилотранспорту, що містить 10 шлюзових живильників Ш5-30 РНУ-01; два скребкових конвеєра КПС (М) -200Т, бункер пилю, камерний насос ТА-23А.3 бункерів рукавного фільтрупил за допомогою скребкових конвеєрів надходить в збірний бункер пилю. Наступним чином за допомогою камерного насосу пил по трубопроводах пневмотранспорту спрямовується в збірний бункер. Для видалення пилю з повітря на кришці цього бункеру розміщується циклон типу ЦН-15, d = 500 мм [38].

Визначаємо масу накопиченого пилю в бункері рукавного фільтру за формулою (3.39), т/доб.[39]:

$$M_{\text{доб.}} = G_{\text{сух}} \cdot 24, \quad (3.39)$$

де  $G_{\text{сух}}$  – маса сухого пилю, т/год.

Виходячи з того, що кількість пилу на виході становить  $10 \text{ мг/м}^3$ , а початкова концентрація на вході у рукавний фільтр становить  $31,2 \text{ г/м}^3$ , тоді обчислимо масу накопиченого пилу в бункері рукавного фільтру:

$$M_{\text{доб.}} = (31,2 - 0,01) \cdot 115668 \cdot 24 \cdot 10^{-6} = 86,58 \text{ т/доб.};$$

Розраховуємо загальний об'єм бункера за формулою (3.40),  $\text{м}^3$ :

$$V_{\text{б.п.}} = \frac{M_{\text{доб.}}}{\gamma_{\text{нас}}} \quad (3.40)$$

де  $\gamma_{\text{нас}}$  – насипна маса пилу,  $\text{кг/м}^3$ . Становить  $1800 \dots 2000 \text{ кг/м}^3$  [40]. Приймаємо  $1800 \text{ кг/м}^3$ .

$$V_{\text{б.п.}} = \frac{86580}{1800} = \frac{194160}{1800} = 48,1 \text{ м}^3$$

Приймаємо 2 збірних бункери  $V_{\text{б.п.}} = 30 \text{ м}^3$ .

Технологічна схема утилізації пилу включає бункера для накопичення пилу. Призначенням бункерів є зберігання матеріалів в якості проміжних ємностей, що забезпечують стабільну роботу агрегатів, обладнання і транспорту. Використовуються прямокутні і круглі за формою бункера. Для уловленого пилу кут природного нахилу від  $20^\circ$  до  $30^\circ$ , для дрібного коксу – від  $30^\circ$  до  $50^\circ$ , для вапняку – від  $30^\circ$  до  $45^\circ$ , для брикетів – від  $37^\circ$  до  $45^\circ$  [40]. Для перекриття вихідних отворів бункерів і видачі з них матеріалів, залежно від найбільшого розміру типових шматків зазвичай використовуються стрічкові, тарілчасті і барабанні живильники [39].

При відведенні конвертерного газу для ліквідації викидів CO передбачається відновлювати промисловий залізорудний матеріал (окатиші) газом з концентрацією CO нижче межі займання з подальшим використанням частково відновленої сировини в якості сипучої частини конвертерної шихти, наприклад, в якості охолоджуючої добавки. Також одним з варіантів

використання конвертерної пилу є окумковування, а потім використання в якості добавки в агломераційну або домену шихту.

Технологія отримання окатишів складається з наступних етапів:

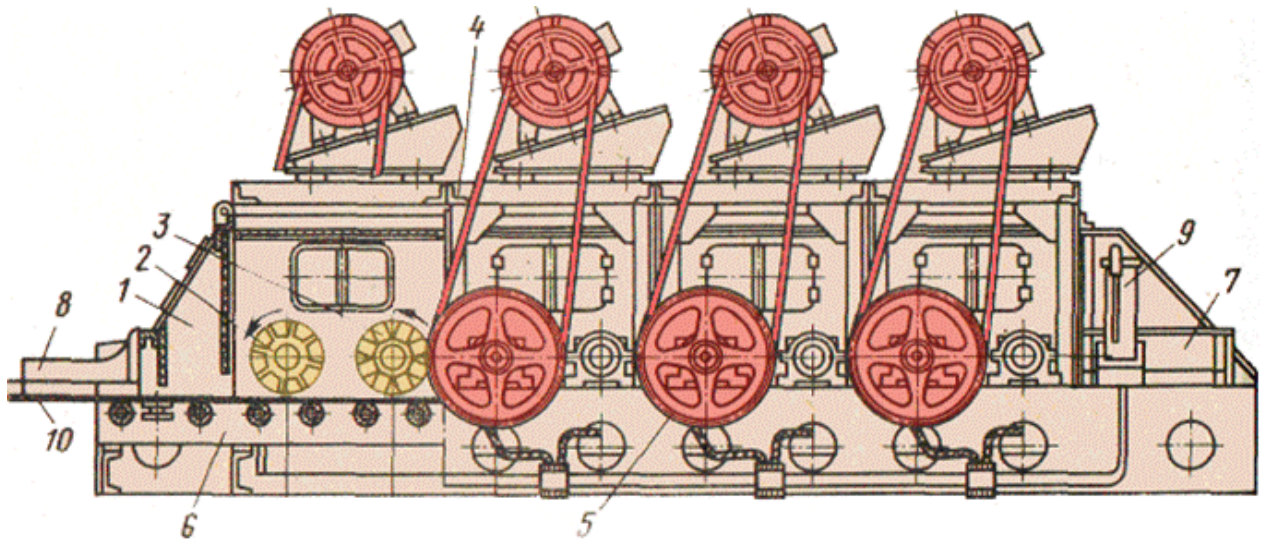
- подрібнення вапна (добавка в шихту вапна забезпечує досягнення високої міцності сирих окатишів або брикетів) за рахунок формування структури гранул на основі знову утворених кристалів гідрату окису кальцію. Огрудкування рудного концентрату виробляється за допомогою зволоження і додавання в'язуючої речовини бентоніту (дрібнодисперсної глини). При виробництві офлюсованих окатишів додають вапно.

- дозування компонентів шихти (пил, вапно, кокс) – кокс використовується для відновлення заліза в шихті, тобто для її металізації;

- змішування компонентів шихти (відбувається у роторному змішувачі, рис. 3.2) [41];

Роторні змішувачі, встановлені на рамі конвеєра над стрічкою таким чином, що компоненти шихти знаходяться через дозуючі пристрої. Далі вони потрапляють у камеру 1, де за рахунок розкидання обертанням роторів відбувається активне перемішування. У камері встановлено дисковий 2 і лопатеві 3 ротори. Дисковий ротор утворює рівний шар шихти, а лопатеві ротори компоненти шихти інтенсивно перемішуються одночасно по висоті й ширині шару [42].

Дисковий ротор 2 представляє собою трубчастий вал із привареним до нього дисками. Несуча конструкція змішувача складається з П-подібного каркаса 4 і роликів опор 6. На каркас встановлюються електродвигуни привода роторів. Обертання роторів здійснюється від електродвигунів змінного струму через клиноремінну передачу. Кожна пара роторів одержує обертання від одного двигуна послідовно через шків 5, установлені на кінцях валів роторів [42].



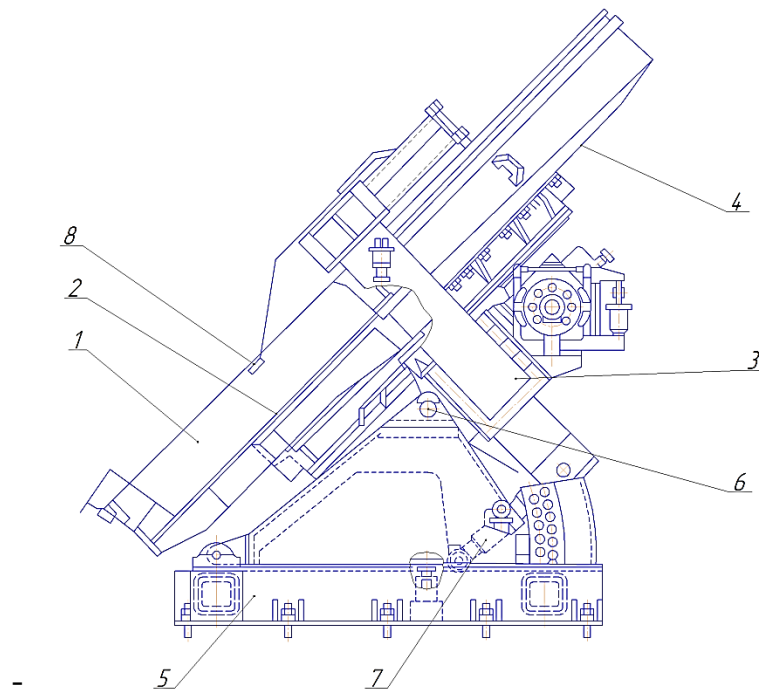
1 – камера; 2 – дисковий ротор; 3 – лопатевий ротор; 4 – П-подібний каркас; 5 – шків; 6 – роликові опори; 7 – електродвигун; 8 – вали; 9 – привід; 10 – стрічка

Рисунок 3.2 – Схема роторного змішувача

У роторних змішувачів, що працюють на стрічці, що рухається, ступінь однорідності шихти не вище 40 — 60 %.

Для наших умов обираємо роторний змішувач типу СР-520х0,8-(2,3,4) [43].

-використання чашового огрудковувача для приготування сирих окатишів (рис.3.3);



1 – чаша; 2 – зубчастий вінець; 3 – вал; 4 – кришка; 5 – станина; 6- шарніра; 7 – гідродомкрат; 8 – форсунки

Рисунок 3.3 – Чашовий огрудковувач

- окатиші проходять просіювання на роликовому грохоті SR1234 [44] );
- сушіння на колосникових решітках та попередній нагрів сирих окатишів, щозменшує зміст вологи в окатишах;
- на обпалювальній машині відбувається обпалювання окатишів конвеєрного типу ОК-108 [45], (табл. 3.5);

Таблиця 3.5 – Технічна характеристика обпалювальної машини ОК-108

Параметри	Величини
1	2
Продуктивність, т/год	90-110
Робоча ширина/довжина,	2/54
Робоча площа, м <sup>2</sup>	108
Висота шару окатишів	320
Кількість газоповітряних камер, шт	27
Кількість обпалювальних теліжок, шт	136



Продовження таблиці 3.5

Швидкість руху обпалювальних теліжок, м/хв	0,5-3,0
Питома витрата тепла палива МДж/т	1260
Максимальна температура над шаром окатишів, °С	1350
Максимальна температура в газоповітряній камері зони рекуперації	550
Температура окатишів на виході, °С	300

8) охолодження в кільцевих охолоджувачах обпалених окатишів.

### 3.3 Контроль та автоматизація системи очищення конвертерних газів

Система очищення газів без допалювання СО включає: котел-утилізатор, випарний скруббер, рукавний фільтр, димотяг та газгольдер.

Для запобігання аварійних ситуацій в системі очищення газів, що відходять від конверторів необхідно контролювати витрату газів, концентрація пилу на вході і на виході у випарний скруббер та рукавний фільтр. Кінцева запиленість газу, після рукавного фільтру повинна становити 10 мг/м<sup>3</sup>, оскільки при більших концентраціях пилу в газі будуть забиватися пальники споживачів конвертерного газу.

Відповідно до технічних характеристик оксалону, з якого виготовлять фільтруючі елементи у рукавному фільтрі, необхідно щоб температура газів на вході в апарат не перевищувала 290 °С. Отже на вході до рукавного фільтру необхідно встановлювати систему автоматичного регулювання температури. Температура може бути зменшена за рахунок підвищення витрати води, яка буде подаватися до випарного скрубберу.

Відомо, що з часом пропускна можливість рукавного фільтру зменшується, а при цьому відбувається збільшення його гідравлічного опору, тому необхідно за рівнем гідравлічного опором необхідно проводити регенерацію рукавного фільтру. Оскільки конвертерний газ є вибухонебезпечним, то необхідно проводити регенерацію за допомогою інертного газу.

Після регенерації пил осідає у бункерах фільтру, тому необхідно встановлювати систему автоматичного регулювання процесу вивантаження пилу.

Калорійність конвертерного газу безпосередньо залежить від вмісту в ньому CO, тому попереду газгольдеру необхідно встановлювати газоаналізатор на визначення CO.

Система контролю температури включає наступні прилади: термометр опору мідний ТСМ – 0879-01, вторинний вимірювальний прилад – логометр Ш69000, регулятор, пускач ПБР – 2М, виконавчий механізм - МЕО-16/10-0,25-82, регулювальний орган - засувка.

Для контролю запиленості газів до та після газоочисних апаратів встановлюють наступні прилади: контактні – електричні прилади ПК-4, вторинний вимірювальний прилад – КСУ-1-001.

Для визначення витрати газу після вентилятору встановлюють: діафрагму ДК 6, вторинний вимірювальний прилад ДИСК-250, блок добування кореню БИК-1.

Для організації системи автоматичного регулювання рівня пилу в бункері використовуємо: акустичний рівномір типу ЕХО-3, вторинний прилад – диск 250 модель 1111, регулятор - БРЕ-1, пускач - ПБР – 2М, виконавчий механізм - МЕО-16/10-0,25-82, регулюючий орган - шнековий конвеєр.

Регулювання процесу регенерації рукавного фільтру забезпечується приладами: дифманометр Сапфір – 2200, вторинний прилад РП – 160, регулятор БРЕ-1, пускач ПБР-2М, виконавчий механізм МЕО – 16/10-0,25-82, позиція 2е, регулюючий орган дросель-клапан[46].

Таким чином, у третьому розділі запроектована високоефективна система очищення конвертерних газів. Дана система працює без допалювання СО та включає: котел- утилізатор ОКГ-180, випарний скруббер АКРП-3,8, рукавний фільтр ФРІР-1200, димоцяг ДН-21 з двигуном А355МЛВ6. В даному розділі розроблена технологія утилізації вловленого пилу з рециклінгом його у виробництво, підібрані прилади для організації автоматичної системи контролю та регулювання параметрів газоочищення.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

### 4.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Основними шкідливими і небезпечними факторами конвертерного цеху є: хімічні газоподібні сполуки, пил, шум, підвищена температура, теплонадлишки. Вони погано діють на організм людини, знижують його працездатність, призводять до професійних захворювань.

В киснево-конвертерному цеху основними джерелами шуму являються циркуляційні насоси, ексгаустери, повітродувки. Випуск пару з котла – утилізатору також супроводжується шумом. Шумною операцією є рубка футерування ковшів. Рівень шуму на робочому місці сталевара киснево-конвертерного агрегату складає 98 дБА, що перевищує норму на 18 дБА за ГОСТ 12.1.003-83, ДСН 3.3.6.037-99 та ССБТ [47].

Найбільш відмітна особливість фізичного середовища - безперервне надходження явного тепла. Первинними його джерелами в цеху є рідкий метал, шлак і високонагріті гази від багаточисельних високотемпературних джерел виділення тепла на деяких ділянках досягає 840-1050 кДж/м<sup>3</sup>. Вони дають головним чином інфрачервоне випромінювання (теплові промені), які нагрівають навколишні поверхні. Гарячі кожухи конвертерів, міксерів, чавуновозних і сталерозливних ковшів, шлакових чаш, нагріті стінки вилівниць, піддони, гарячий скрап, шлакові кірки, бій вогнетривів служать вторинними джерелами тепла. Кількість теплонадлишків на робочому місці сталевара 3500 Вт/м<sup>2</sup>. Норма тепло надлишків становить 140 Вт/м<sup>2</sup> за ДСН 3.3.6.042-99. В результаті такого надлишку тепла повітря киснево-конвертерного цеху нагрівається до 41 °С в теплий період року. Для інфрачервоних променів сухе повітря прозоре. Переміщення більш нагрітих мас повітря до менш нагрітих створює конвективний перенос тепла (конвекція - циркуляція потоків повітря, викликана різницею їх температур) [47].

Вид тепловипромінювання визначається температурою поверхні фізичного тіла. Нагріті до 600°C поверхні дають інтенсивне інфрачервоне випромінювання. При 700-750°C з'являється видиме випромінювання. При температурі розплавленого заліза (1500°C і вище) разом з інфрачервоним і видимим в спектрі спостерігається і ультрафіолетове випромінювання - з горловини конвертера з металом, від струменя чавуну з мікзера, металу і шлаку при випуску плавки з конвертера. Поблизу первинних джерел значна кількість тепла виділяється, крім того, і конвекцією. За санітарними нормами до гарячих відносяться ті виробництва, де інтенсивність тепловиділення в повітря перевищує 84 кДж/(м<sup>3</sup>/год). У конвертерному цеху тепла виділяється в багато разів більше. Вплив променевої енергій на людину оцінюється інтенсивністю інфрачервоного опромінення. Оптимальний рівень нагріву приймається 1,25 МДж / (м<sup>2</sup>·год). Опромінення такої інтенсивності людина переносить легко. Сильне тепловиділення погіршує мікроклімат ділянки і несприятливо впливає на працюючих: підвищується імпульсивність шкірного аналізатора, посилюється напруженість терморегуляції організму під контролем центральної нервової системи, серцево-судинна і дихальна системи мобілізуються до більш високих навантажень. Виникають дискомфортні тепловідчуття. Працездатність в таких умовах падає [49].

Запиленість повітря в зоні обслуговування конверторних печей може досягати значних величин (140 мг/м<sup>3</sup>) [48]. У пилу містяться оксиди хрому, марганцю, кремнію, нікелю. Гранична допустима концентрація такого нетоксичного пилу в повітрі робочої зони виробничих приміщень не повинна перевищувати 4 мг/м<sup>3</sup>.

Крім того в повітрі містяться сірчистий ангідрид, оксиди азоту і вуглецю.

Умови і характер праці сталевара наведені в табл. 4.1.

Відповідно до табл.4.1 умови праці відносяться до III класу.

Таблиця 4.1 - Оцінка факторів виробничого і трудового процесу конверторника конвертерного цеху

№	Факторивиробничого середовища татрудовогопроцесу	Нормативне значення (ГДК, ПДУ)	Фактичне значення	III клас Шкідливі і небезпечні умови и характер труда			Тривалість дії фактора за зміну, %
				I ст.	II ст.	III ст.	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м <sup>3</sup>					-	100
	1 клас: хром	0,01	0,036	-	3,6р	-	
	нікель	0,05	0,125	-	2,5р	-	
	марганец	0,05	0,2	-	4р	-	
	бенз(а)пирен	0,00015	0,00026	-	-	-	
	2 клас: мідь	1,0	1,15	1,7р	-	-	
	3-4 клас: CO	20,0	80	1,15р	-	-	
	SO <sub>2</sub>	10,0	37,5	4р	-	-	
NO	5,0	29,5	3,75р	5,9р	-		
2	Пил переважно фіброгенної дії, мг/м <sup>3</sup>	4,0	143	-	-	35,8р	
3	Вібрація (загальна и локальная), дБ	-	-	-	-	-	
4	Шум, дБА	80	98	-	-	18	80
5	Інфразвук, дБ	-	-	-	-	-	
6	Ультразвук, дБ	-	-	-	-	-	
7	Мікроклімат						
	температура повітря, °C						
	теплий період	15...26	41	-	-	15	
	холодний період	13...19	10	3	-	-	
	Швидкість руху повітря, м/с						
	теплий період	0,2-0,6	0,8	1,6р	-	-	
	холодний період	<0,4	0,8	2р	-	-	
	- Відносна вологість виробництва						
	теплий період	<75	50	-	-	-	
	холодний період	<75	55	-	-	-	
	- інфрачервоне випромінювання, Вт/м <sup>2</sup>	140	3500	-	-	3500	90

## 4.2 Заходи з поліпшення умов праці

До групи заходів, направлених на оздоровлення умов праці відносять заходи по зниженню температури повітря і інтенсивності теплового випромінювання в робочій зоні. Основне місце належить вентиляції. Найбільш ефективна аерація [50]. У конвертерному цеху застосовують способи місцевої вентиляції: приточну (повітряний душ на робочих місцях в конвертерному, розливному, стріперних відділеннях, у дворі підготовки розливних складів: влітку - з водорозпиленних через форсунки, взимку - з підігрівом повітря в калорифері) і витяжну (відсмоктувальну) - аспірацію. Останню застосовують в галереях шихтоподачі, міксерному відділенні і ін. Для припливної вентиляції необхідно забезпечити постійний відбір чистого повітря в місцях, віддалених від брудних викидів. Найкраще місце - зелений масив санітарно-захисної зони підприємства з позначки не нижче +3 м. При виборі місць відбору чистого повітря враховують переважний напрямок повітряних течій. Забруднене повітря аспіраційних систем перед викидом в атмосферу повинен бути попередньо очищений в спеціальних апаратах [49].

У холодний період року передбачається установка повітряних завіс біля воріт киснево-конвертерного цеху.

Вконвертерному цеху при роботі у несприятливому мікрокліматів якості індивідуального захисту відноситься спецодяг. Його захисна роль полягає у зменшенні зовнішнього теплового навантаження, яке може істотно перевищувати внутрішню, особливо при дії на людину інтенсивного теплового випромінювання. Спецодяг виготовляється з матеріалів з низькою теплопровідністю, яка максимальновідображає теплові промені (льон, бавовняна тканина). При роботі з розплавленим металом необхідно застосовувати захисні маски для очей [47].

Для зменшення дії шуму на робітників організують звукоізоляцію поста керування для сталеварів. Встановлення звукоізолюваного поста-керування

забезпечить зниження рівня шуму на робочому місці сталевара на рівні нормативу 80 дБА.

Розробляються засоби видалення пилу в місцях її утворення, відсіву від сипучих матеріалів дрібних фракцій і пилу; зниження втрат матеріалів при транспортуванні, зберіганні на складах, на навантаження і вивантаження; герметизації перевалочних вузлів.

Засобами індивідуального захисту органів дихання працюючих служать протипилові респіратори і ізолюючі прилади. Аспіраційні викиди попередньо піддаються очищенню в спеціальних установках. Для знепилювання приміщень (підлоги, стін, трубопроводу вентиляції і опалювальних систем, устаткування) рекомендується регулярно вологе прибирання виробничих приміщень і робочих місць [50].

### **4.3 Виробнича санітарія**

Мікроклімат робочих приміщень конвертерного цеху характеризується звичайними для гарячих цехів шкідливими виробничими факторами - значними виділеннями надлишкового тепла, пилу і газів, різко контрастним освітленням. Вони погано діють на організм людини, знижують його працездатність, призводять до професійних захворювань.

Зважений в повітрі пил погіршує мікросередовище виробничих приміщень. При викиді в атмосферу він забруднює повітряний басейн, а при тривалій роботі людей в запилених місцях викликає професійні хвороби дихальної системи - пневмоконіози. Вдихувані з повітрям тверді частинки пилу ушкоджують легеневу тканину і поступово вимикають її з процесу дихання. Порушується постачання організму киснем. Настає розлад в загальному обміні речовин. Необоротно падає працездатність людини [51].

При наявності в пилу вільного кремнезему пневмоконіоз приймає форму силікозу. Промисловий нетоксичний пил викликає також захворювання шкіри



(вугри, фурункули). Частинки пилу в повітрі можуть стати переносниками мікроорганізмів і збудників інфекційних захворювань [51].

Вміст пилу в повітрі робочих приміщень обмежується санітарними нормами і ГОСТ 12.1.005-88, які встановлюють гранично допустиму концентрацію (ГДК) її в робочій зоні і при викиді в атмосферу з димових труб і аспіраційних пристроїв.

Якщо вміст вільного кремнезему в пилу не перевищує 10%, то в повітрі робочої зони допускається не більше  $4 \text{ мг/м}^3$ , а в організованих викидах не більше  $100 \text{ мг/м}^3$ .

Параметри повітряного середовища для робочої зони конвертерного цеху занесені в табл. 4.2, ДСН 3.3.6.042-99 [51].

Таблиця 4.2- Значень прийнятих допустимих параметрів повітряного середовища в робочій зоні виробничих приміщень

Період року	Категорія робіт	Температура, °С				Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
		Верхня межа		Нижня межа			
		Постійна	Непостійна.	Постійна	Непостійна.		
Холодний	Важка	19	20	13	12	75	< 0,5
Теплий	Важка	26	28	15	13	65	0,2...0,6

Необхідною умовою високопродуктивної і безпечної праці є раціональне освітлення робочих приміщень і території цеху. Здорової людини в його діяльності орієнтують в першу чергу очі. У зорових відчуттях він отримує основну інформацію з навколишнього середовища. Недарма фізіологи називають сітківку зорового органу шматочком мозку в оці.

Освітлення повинне бути достатнім, щоб добре бачити предмети праці та інструменти, доцільно розподіленим в робочій зоні і сприйматися вільно, без напруги очей і загального стомлення організму. У цих умовах людина працює уважно і продуктивно. Рівень виробничого травматизму знижується, особливо в нічний час.

Освітленість виробничих приміщень регулюється будівельними нормами і правилами (СНтаП II-4-79) і галузевими нормами штучного освітлення цехів і заводів чорної металургії. Для постійного спостереження за ходом виробничого процесу в сталеплавильному цеху загальне освітлення має становити не менше 150 лк для люмінесцентних ламп і 75 лк для ламп розжарювання, а для місць з непостійним перебуванням людей - 75 і 20 лк.

Штучне освітлення слід передбачати для всіх приміщень, будівель, а також ділянок відкритих просторів, призначених для роботи, проходу людей і руху транспорту, ДБН В.2.5-28-2006.

Особливість світлового середовища конвертерного цеху - значна контрастність освітлення. Постійним джерелом світла великої яскравості служить сам конвертер в процесі плавки. Яскраво світять струмись заливається чавуну, факел полум'я над горловиною, дзеркало ванни при відборі проб металу і шлаку, струмись стали при випуску плавки.

У розливному прольоті джерелами видимого випромінювання є: полум'я пальників на стендах підігріву ковшів, поверхня рідкого металу і шлаку в ковші, струмись стали при наповненні виливниць, залиті склади изложниц, рідкий шлак в чашах.

Освітленість у відділеннях цеху нерівномірна і викликає часті адаптації при перекладі-погляду з джерела сліпучого світла на світяться предмети. Щоб знизити зорове напруження, освітленість фону підсилюють до 200 лк і більше для люмінесцентних ламп і не менше 75 лк для ламп розжарювання. Для захисту очей від сліпучого видимого світла, а також інфрачервоного і ультрафіолетового випромінювання працюючим видають окуляри-світлофільтри з синього кобальтового скла.

Для внутрішнього освітлення виробничих приміщень застосовують світильники:

- з лампами розжарювання прямого і розсіяного світла;
- люмінесцентні, з лампами денного світла (ЛД), білого світла (ЛБ), блакитного світла (ЛГ);

- дугові ртутні люмінесцентні (ДРЛ) з виправленою кольоровістю і високою світловою віддачею.

Зовнішню територію цеху висвітлюють прожекторами світла, що заливає і ксеноновими лампами. Прожектори встановлюють зазвичай на даху виробничої будівлі з деяким розворотом, щоб не зліпити машиністів локомотивів, які обслуговують цех.

Ксенонові лампи, дугові трубчасті (ДКсТ) монтуються на даху будівлі або щоглі, на висоті 50-60 м від землі, для освітлення відкритого простору в радіус.

Освітлювальні установки повинні відповідати певним вимогам техніки безпеки і виробничої санітарії. Так, лампи обов'язково мають бути забезпечені освітлювальною арматурою. Забороняється також застосовувати світильники для ламп розжарювання з непрозорими відбивачами і захисним кутом менш  $15^\circ$  без розсіювачів і з лампами в прозорій колбі [52].

#### **4.4 Заходи з електробезпеки**

Виробничі приміщення за ознакою електробезпеки, з урахуванням стану ізоляції проводів і можливості переходу напруги на не струмоведучі частини, підрозділяються на три категорії:

- приміщення без підвищеної небезпеки - сухі, з відносною вологістю не більше 60% (тимчасово - не вище 75%), з нормальною температурою повітря, що не запилені, з електроізолюваною підлогою (лабораторії, контори).

- приміщення з підвищеною небезпекою - сирі, з відносною вологістю більше 75%, температурою повітря, які тривалий час перевищує  $35^\circ\text{C}$ , з провідної технологічної пилом, що осідає на проводах і руйнує їх ізоляцію, проникаючої всередину машин і сприяє витоку струму і замикання на землю. Є небезпека одночасного контакту людини з металоелементними конструкціями, з'єднаними з землею і з частинами електроустановок.

- приміщення особливо небезпечні - з вологістю близько 100% і хімічно агресивним середовищем.

Конвертерний цех в цьому відношенні належить до особливо небезпечних. У ньому використовується багато електрообладнання. Виробничі приміщення характеризуються підвищеною температурою повітря, значним вмістом в ньому провідного пилу (плавильного, шлакового, графітного). Підлога має струмопровідні властивості, є постійна небезпека одночасного дотику людини з металоконструкціями і частинами електроустановок. До системи захисного заземлення підключають також всю освітлювальну арматуру, металеві коробки перемикачів, кожухи розподільних щитів та ін., ГОСТ 12.1.30-81 ССБТ. Гранично допустимі рівні напруги дотиків і струмів встановлюються згідно з чинним нормативним документом ДСТУ 7237:2011 "Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги і номенклатура видів захисту" не повинні перевищувати наступних значень [52].

#### **4.5 Заходи пожежної безпеки**

Джерелами пожежі можуть бути витік і скупчення газу в котельній; несправності електроустаткування, освітлювальних приладів; вихід з ладу приладів автоматики. При порушенні цілісності газопроводів відхідних газів або при руйнуванні обшивки і обмурування котла, відхідні гази мають високу температуру, можуть послужити причиною пожежі. Для запобігання пожежі на підприємствах вживають заходи по обмеженню масштабів пожеж відповідно до ДСТУ 8828 : 2019 " Пожежна безпека. Загальні положення".

Неодмінною вимогою безпеки є герметичність з'єднань газопроводів. Для попередження утворення вибухонебезпечних газоповітряних сумішей велике значення має контроль повітряного середовища виробничого приміщення. Найбільш прогресивний контроль повітряного середовища виробничих приміщень автоматичними сигналізаторами до вибухових концентрацій. При

включенні попереджувальної сигналізації і аварійної вентиляції передбачається автоматичне або ручне відключення всього або частини технологічного устаткування. Для гасіння пожеж застосовують воду, водну емульсію і хімічну піну. До водяних установок пожежогасінні відносяться сплинклерні і дренчерні системи продуктивністю 25-50 л/с, і з тиском води 0,8-1 МПа. В якості датчиків виникнення пожежі використовуються комбіновані пристрої, які встановлюються з розрахунку : один датчик на 50-100 м<sup>2</sup> поверхні підлоги. Підлога в киснево-конвертерному цеху виконана вогнетривкою (бетон), рівна і не слизька [47].

По мірі пожежної небезпеки конвертерне виробництво відноситься до виробництва категорії Г.

Відстані між будівлями і спорудами при мірі вогнестійкості I і II складає 9 м, ДБН В.1.2-7-2008 СНББ. Цю відстань можна зменшити до 6 м, якщо будівлі і споруди обладналися стаціонарними автоматичними системами пожежогасінні.

Будівля конвертерного цеху обладнана блискавко захистом.

#### 4.6 Розрахунок звукоізолюваного поста керування конверторника

Проектуємо звукоізолюваний пост керування для 2 людей з мовним зв'язком по телефону розмірами 5×2,5 м і висотою 3,08 м. Коректувальний рівень звукової потужності  $L_{pA} = 88$  дБА.

Загальний рівень звукової потужності  $L_{pc1} = 98$  дБА (табл. 4.1).

Сумарні рівні звукової потужності конвертерів згідно з формулами (4.1) та (4.2):

$$L_{pA} = 10 \lg \sum_{K=1}^6 10^{0.1 L_{pAK}} = 88 + 7,78 = 95,78 \text{ дБА}, \quad (4.1)$$

$$L_{pc} = L_{pc1} + 10 \lg 6 = 98 + 7,78 = 105,78 \text{ дБА} \quad (4.2)$$

Пост керування має 1 вікно площею  $1,4 \text{ м}^2$  та одні двері площею  $2 \text{ м}^2$

Площа глухої частини стіни становить  $15,4 \text{ м}^2$ , площа даху  $12,5 \text{ м}^2$ , об'єм поста  $53,9 \text{ м}^3$ .

Схема поста керування наведена на рис. 4.1.

Необхідну звукоізоляцію визначаємо роздільно для чотирьох різнорідних елементів.

Ухвалюємо для умов цеху  $m_{\text{ш}} = 1$  і для приміщення поста керування  $m_{\text{ш}} = 5$  [50]:  $\Delta_{\text{ош}} = 1,5 \text{ дБА}$  ·  $\Delta_{\text{ои}} = -1 \text{ дБА}$

Розрахуємо необхідну звукоізоляцію за формулою (4.3):

$$R_{AT1} = 97.98 - 80 - 71 \lg 3825 - 71 \lg 5 \cdot 75 + 101 \lg (S_1/S_0) + 101 \lg 4 + 1.5 - 1 + 6 + \Delta s = 3.29 + 101 \lg (S_1/S_0) + \Delta s, \quad (4.3)$$

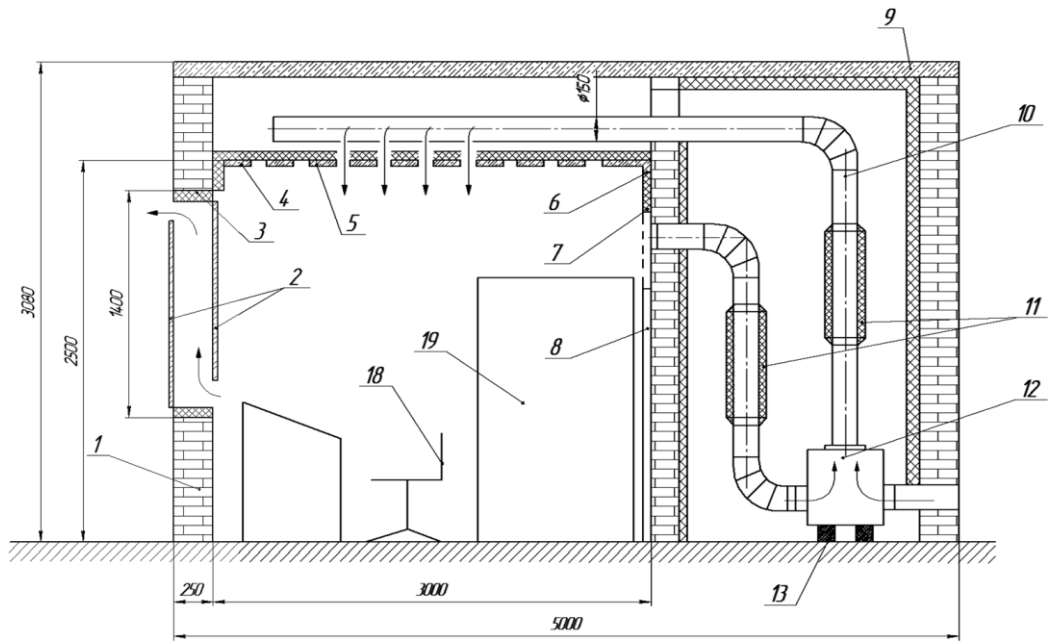
Тоді при  $L_{PC} - L_A = 100.7 - 95.78 = 4.92 \text{ дБА}$  знаходимо  $\Delta_c = \Delta_k = 8,2 \text{ дБА}$ ,  $\Delta_{ок} = 0,2 \text{ дБА}$ ,  $\Delta_d = 4 \text{ дБА}$  ( для стандартного дверного полотна по конструкції рис. 4.2 [50]).

$$R_{ATc} = 4.92 + 10 \lg 37.5 + 8.2 = 28.8 \text{ дБА};$$

$$R_{ATk} = 4.92 + 10 \lg 30 + 8.2 = 27.9 \text{ дБА};$$

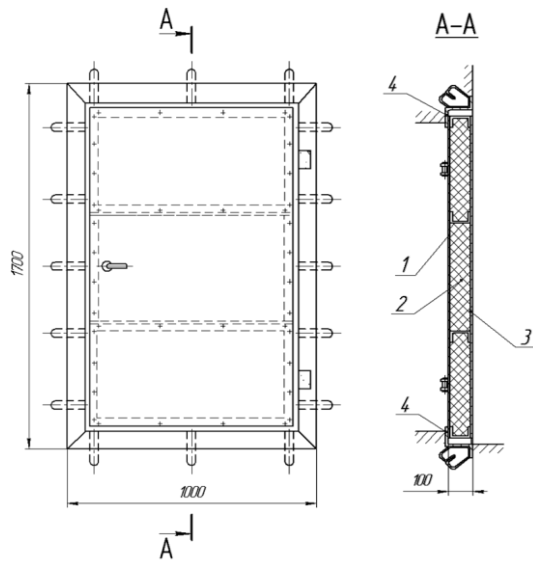
$$R_{ATок} = 4.92 + 10 \lg (6 \cdot 1) + 0.2 = 12.9 \text{ дБА};$$

$$R_{ATд} = 4,92 + 10 \lg (2 \cdot 2) + 4 = 14.9 \text{ дБА};$$



1 – цеглова стіна; 2 – подвійний вітраж; 3 – порошок по контуру; 4 – стеля, що поглинає звук; 5 – припливна вентиляційна решітка; 6 – перегородка; 7 – плита; 8 – стіна з рециркуляційною решіткою; 9 – кришка; 10 – повітрявідприпливної вентиляції; 11 – глушник шуму; 12 – кондиціонер; 13 – віброізолятор

Рисунок 4.1 - Звукоізолюваний пост керування сталеварника



1-лист дюралюмінію, 2 мм; 2- мінеральні плити; 3-лист дюралюмінію, 3 мм; 4- легка резина

Рисунок 4.2 -Двірне полотно конструкції № 2

Проектування поста керування сприяє зниженню рівню шуму на робочому місці конверторника до допустимого рівня.

Таким чином, у четвертому розділі наведено характеристику потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів у конвертерному цеху,

проаналізовані заходи з поліпшення умов праці.. Розглянуто питання виробничої санітарії, наведено заходи з пожежної безпеки та електробезпеки. Запроектовано звукоізований пост керування сталеварника.



## 5 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЕКТУ

За базовий варіант приймається система очищення, яка включає: котел утилізатор; два високонапірних скрубери Вентурі, насос, димотяг, газгольдер, шламове господарство. Кінцева запиленість газів після скрубера Вентурі становить 10 мг/м<sup>3</sup>. Проектний та базовий варіант не передбачає допалювання газів. Проектний варіант містить: котел-утилізатор, випарний скрублер, рукавний фільтр, обладнання для утилізації вловленого продукту, димотяг, газгольдер. Кінцева запиленість газів після рукавного фільтру становить 10 мг/м<sup>3</sup>.

Відповідно до теоретичного аналізу складено баланс робочого часу системи газоочищення конвертерних газів (табл.5.1).

Таблиця 5.1 – Баланс робочого часу системи газоочищення

Показники	Од. виміру.	Базовий варіант	Проектний варіант
Режим роботи		Безперервний	Безперервний
Календарний час роботи, $T_{кал}$	дні	365	365
	години	8760	8760
Простої на плановий ремонт, $T_{рем}$	дні	10	10
	години	240	240
Ефективний фонд часу, $T_{эф}$	дні	355	355
	години	8520	8520
Коефіцієнт використання, $K_{вик}$	-	0.973	0.973

Визначаємо річну виробничу потужність газоочисної установки за формулою (5.1) [53], м<sup>3</sup>/рік:

$$П = N \cdot T_{эф}, \quad (5.1)$$

де  $N$  – технічна норма продуктивності основного агрегату очисної установки в одиницю часу,  $\text{нм}^3/\text{год.}$ ;

$T_{\text{ef}}$  – річний фонд ефективного часу роботи газоочисної установки, год.;

Кількість уловленого пилу визначаємо за формулою (5.2), т:

$$Q = \frac{(z_1 - z_2) \cdot \Pi}{10^6}, \quad (5.2)$$

де  $Z_1$  – запиленість газу до очищення,  $\text{г} / \text{м}^3$ ;

$Z_2$  – запиленість газу після очищення,  $\text{г} / \text{м}^3$ .

Результати розрахунків фіксуємо у табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Виробнича програма системи газоочищення

Показник	Од. вим.	Базовий варіант	Проектний варіант
Річна продуктивність газоочисної установки, $\Pi$	млн. $\text{нм}^3/\text{рік}$	553,8	553,8
Технічна норма продуктивності, $N$	$\text{нм}^3/\text{год}$	65000	65000
Початкова запиленість, $Z_1$	$\text{г}/\text{м}^3$	160	160
Кінцева запиленість, $Z_2$	$\text{г}/\text{м}^3$	0.01	0.01
Кількість вловленого пилу, $Q$	т/рік	88602,462	88602,462
Кількість утилізованої пилу, $Q_{\text{ут}}$	т/рік	62021,72	67207,51
Витрата води, $Q_{\text{ж}}$	тис $\text{м}^3/\text{рік}$	1000,5	750

За практичними даними встановлюємо штатний розклад працівників ділянки газоочищення (табл.5.3).

Таблиця 5.3 – Штатний розклад робочих ділянки газоочистки

Професія	Розряд	Годинна тарифна ставка, грн./год.	Графік роботи	Тривалість з міни, год.	Розстановочний штат, чол.				Резервний склад, чол.	Списочний склад, чол.	
					Бригади						Усього
					1	2	3	4			
Оператор ГОУ	10	15,96	Безперервний	8	1	1	1	1	4	1	5

Встановлюємо плановий фонд оплати праці робітників  $\Phi ОП_{пл}$  на рік 710000 грн./рік, у тому числі фонд основної заробітної плати робітників 406060 грн., додаткова заробітна платня – 303940 грн/рік.

Єдина ставка нарахування єдиного соціального внеску становить 22% від нарахованого доходу.

$$ЄСВ = \Phi ОП_{пл} \cdot 0,22 = 710000 \cdot 0,22 = 156200 \text{ грн./рік.}$$

**Розрахунок капітальних витрат на очищення газу.** Відомості щодо вартості основного устаткування заносимо до табл. 5.4.

Розрахунок вартості контрольно-вимірювальних приладів складе 25% від вартості газоочисного устаткування проводиться за формулою (5.3) [53]:

$$C_{КВП} = 0,25 \cdot C_{осн.у}, \quad (5.3)$$

Розрахунок вартості встановлення і монтажу устаткування проводиться за формулою (5.4), грн:

$$C_{м.у.} = 0,3 \cdot (C_{осн.у.} + C_{КВП}), \quad (5.4)$$

Обчислення вартості монтажу комунікацій (газоходів та трубопроводів) проводиться за формулою (5.5), грн.:

$$C_{м.к.} = 0,15 \cdot C_{ком.}, \quad (5.5)$$

Накладні витрати, якщо монтаж здійснюється спеціалізованими організаціями розраховується за формулою (5.6):

$$C_n = 0,2 \cdot C_{осн.у.} \quad (5.6)$$

Вартість будівель, приймаємо розміри будівлі підстанції для обслуговування електрофільтрів: (10 x 30 x 4) м, за 1м<sup>3</sup> будівлі 550 грн..

Розраховуємо капітальні затрати у вигляді питомих величин, які віднесено до 1000 м<sup>3</sup> газу (грн./1000м<sup>3</sup>) за формулою (5.7).

$$C_n = (C_{осн.у.} + C_m + C_n + C_{зД} + C_{м.к.}) \cdot \frac{1000}{3600 \cdot Q_c \cdot \tau}, \quad (5.7)$$

де  $Q_c$  – секундна витрата газів, що очищуються, нм<sup>3</sup>/с;

$\tau$  – ефективний час роботи системи газоочищення за рік, год.

Результати розрахунку вносимо до табл.5.4.

Таблиця 5.4 – Капітальні вкладення в газоочисні установки

№	Показники	Базовий варіант	Проектний варіант
		Сума, тис.грн	Сума, тис.грн
1	2	3	4
1	Котел-утилізатор	2000.000	2000.000
	Рукавний фільтр	0.000	12800.000
	Газгольдер	200.000	200.000
	Димотяг	500.000	340.000
	Електродвигун	280.300	150.300
	Устаткування для утилізації	4900.000	1500.000
	СкруберВентурі	2500.000	0.000
	Насос	250.000	105.00
	Полий форсунковий скруббер	0.000	600.00
Вартість основного устаткування		10630	17695,3
2	Газоходи	800.000	600.000
3	КВП	2657,5	4423,83

Продовження таблиці 5.4

	Всього	14087,5	22719,125
4	Вартість монтажу устаткування та споруджень	3986,25	6635,739
5	Вартість монтажу комунікацій	90,000	90,000
6	Витрати на будинки	467.5	660.000
7	Накладні витрати	2126,00	3539,06
	<b>Всього капітальних вкладень</b>	<b>20757,25</b>	<b>33643,924</b>
	<b>Всього капітальних вкладень на 1000 м<sup>3</sup> газу</b>	<b>37,48</b>	<b>60,75</b>

### Експлуатаційні витрати на очищення газу і уловлювання пилу

Річні експлуатаційні витрати на очистку газів розраховуються за формулою (5.8), грн/рік:

$$C = \sum_{i=1}^n C_i = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6 + C_7, \quad (5.8)$$

де  $C_1$  – витрати на електроенергію, грн.;

$C_2$  – витрати на основні та допоміжні матеріали, грн.;

$C_3$  – амортизаційні відрахування від основного та ремонтного фондів, грн.;

$C_4$  – основна і додаткова зарплата виробничих робітників, грн.;

$C_5$  – єдиний соціальний внесок, 22% від вартості основних фондів, грн.;

$C_6$  – витрати на поточний ремонт та утримання основних фондів, грн.;

$C_7$  – загальновиробничі витрати, грн.

Енергетичні витрати розраховуються за формулою (5.9):

$$C_1 = r \cdot l \cdot N \cdot \tau, \quad (5.9)$$

де  $r$  – вартість електроенергії, для промислових підприємств, у звичайні години  $r = 1,696$  грн./кВт·год., у годину пік  $r = 3,397$  грн./кВт·год. ;

$l$  – коефіцієнт, що враховує утримання обслуговуючого персоналу, приймаємо  $l=1,1$ ;

$N$  – сумарна потужність електродвигунів до димососів та агрегатів живлення, кВт, для базового варіанту 2000кВт·год, для проектного 1600 кВт·год.

$$C_{16} = (1,69 \cdot 0,75 + 3,397 \cdot 0,25) \cdot 1,1 \cdot 2000 \cdot 8520 = 39676362 \text{ грн/рік}$$

$$C_{1п} = (1,69 \cdot 0,75 + 3,397 \cdot 0,25) \cdot 1,1 \cdot 1800 \cdot 8520 = 35708725,8 \text{ грн/рік}$$

Амортизаційні відрахування від основних фондів ( $C_3$ ) розраховують з урахуванням таких норм амортизаційних відрахувань [53]:

- 1) для устаткування – 15%;
- 2) для будинку й споруджень - 5%;
- 3) для мереж і комунікацій – 5%;
- 4) для КВП – 25%.

Витрати на поточний ремонт та утримання основних засобів становлять 15% від амортизаційних відрахувань обчислюється за формулою (5.10):

$$C_{р.ф.} = 0,15 \cdot C_{заг}, \quad (5.10)$$

де  $C_{заг}$  - амортизаційні відрахування від основних фондів, грн

Таким чином, амортизаційні відрахування розраховуються за формулою (5.11) :

$$C_3 = C_{заг} + C_{р.ф.} \quad (5.11)$$

Загально виробничі витрати приймаємо в розмірі 30% від суми основної та додаткової заробітної плати основних виробничих робітників:

Економія від утилізації продуктів, що вловлюються в процесі очищення газу розраховується за формулою (5.12):

$$E_y = Q_{yt} \cdot Ц \quad (5.12)$$

де  $Q_{yt}$  – кількість утилізованого продукту, т/рік;

$Ц$  – ціна відпускна за 1т,  $Ц = 94$  грн.

Результати розрахунку фіксуємо у табл. 5.5.

Таблиця 5.5 – Експлуатаційні витрати системи очищення конвертерних газів

№	Найменування	Од.вим.	Базовий варіант		Проектний варіант	
			Величина витрат, грн/1000м <sup>3</sup>	Витрати річні грн	Величина витрат, грн/1000м <sup>3</sup>	Витрати річні грн
1	Вода технічна	м <sup>3</sup>		3579800		2970000
2	Електроенергія	кВт·год		39676362		35708725,8
3	Амортизаційні відрахування	грн		2286750		3797752
4	ЗП робітників					
	- основна	грн		406060		406060
	- додаткова	грн		303940		303940
5	Єдиний соціальний внесок	грн		162474.64		162474.64
6	Витрати на ремонт та утрим. устаткування	грн		343012,5		569662,8
7	Загально виробничі витрати	грн		221556.32		221556.32
	Загальні витрати на очищення	грн		47978955,46		44140171,56
	Економія від утилізації пилу			5830041,68		6317505,94
			<b>74,30</b>	<b>41148913,78</b>	<b>68,29</b>	<b>37822665,62</b>

Річний економічний ефект обчислюється за формулою (5.13):

$$E = [(C_{\text{б}} + E_{\text{н}}K_{\text{б}}) - (C_{\text{пр}} + E_{\text{н}}K_{\text{пр}})]Q_{\text{пр}} = [(C_{\text{б}} - C_{\text{пр}}) - E_{\text{н}}(K_{\text{б}} - K_{\text{пр}})]Q_{\text{пр}}, \quad (5.13)$$

де  $C_{\text{б}}$  і  $C_{\text{пр}}$  – собівартість одиниці продукції відповідно базової й нової техніки, грн;

$K_{\text{б}}$  і  $K_{\text{пр}}$  – питомі капітальні вкладення на одиницю продукції в базову й нову техніку, грн;

$E_{\text{н}}$  – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, для природоохоронних заходів  $E_{\text{н}} = 0,15$  грн/грн. · рік;

$Q_{\text{пр}}$  – річний обсяг виробництва робіт за допомогою нової техніки в розрахунковому році, тис.м<sup>3</sup>.

Розрахунок строку окупності капітальних вкладень проводиться за формулою (5.14) :

$$T_{\text{окуп}} = (K_{\text{пр}} - K_{\text{б}})/(C_{\text{б}} - C_{\text{пр}}), \quad (5.14)$$

де  $C_{\text{б}}$  і  $C_{\text{пр}}$  – собівартість річного випуску продукції відповідно по базовому й проектному варіанту, грн;

$K_{\text{б}}$  і  $K_{\text{пр}}$  – капітальні вкладення по базовому й проектному варіантах, грн;

Коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень обчислюється за формулою (5.15) [53]:

$$E_{\text{пр}} = \frac{1}{T_{\text{окуп}}} = \frac{E_{\text{у}}}{K} \quad (5.15)$$

Результати розрахунків систематизуємо у табл. 5.6.



Таблиця 5.6 – Основні техніко-економічні показники запроектованої установки очищення конвертерних газів

№	Показники	Одиниці виміру	Варіант	
			Базовий	Проектний
1.	Річна продуктивність газоочисної установки	млн. м <sup>3</sup> /рік	553,8	553,8
2.	Технічна норма продуктивності	м <sup>3</sup> /год	65000	65000
3.	Початкова запиленість	г/м <sup>3</sup>	160	160
4.	Кінцева запиленість	г/м <sup>3</sup>	0,010	0,010
5.	Кількість вловленого пилю	т	88602,462	88602,462
6.	Кількість утилізованого пилю	т	62021,72	67207,51
7.	Капітальні вкладення	тис.грн	20757,25	33643,924
8.	Електроенергія	грн	39676362	35708725,8
9.	Водопостачання	грн	14895959.04	7447979.52
10.	Зарплата робітників			
	- основна	грн	406060	406060
	- додаткова	грн	303940	303940
11.	Економія від утилізації	грн	5830041,68	6317505,94
12.	Загальні експлуатаційні витрати з урахуванням утилізації пилю	грн	41148913,78	37822665,6 2
12.	Термін окупності капітальних вкладень	рік	-	3,87
13.	Коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень	грн/(грн·рік)	-	0,26

Таким чином, у п'ятому розділі проведено розрахунки основних техніко-економічних показників, які показали економічну доцільність впровадження запроектованої системи очищення. Строк окупності капіталовкладень становить 3,87 років при коефіцієнті економічної ефективності капіталовкладень 0,26 грн/(грн·рік).

## ВИСНОВКИ

За підсумками проведення теоретичного аналізу та проведених досліджень було встановлено наступне:

1. Під час відводу газів від конвертера найбільш доцільно використовувати систему без допалювання монооксиду вуглецю. В результаті використання даної системи на виході очищений від пилу газ представлятиме собою високоякісне технологічне та енергетичне паливо, що є підставою для його вторинного використання з метою зменшення антропогенного навантаження на навколишнє середовище;

2. Найбільш ефективною є система очищення конвертерного газу, яка має в своєму складі: котел-утилізатор, порожнистий випарний скруббер, рукавний фільтр типу ФРІР (за умови здійснення регенерації інертним газом) та газгольдер;

3. Ефективність очищення газу в основному газоочисному апараті, яким є рукавний фільтр, становить 99% при кінцевій запиленості  $10 \text{ мг/м}^3$ , що задовольняє технологічним вимогам для використання газу в якості палива;

4. Проведено аеродинамічний розрахунок газового тракту на основі якого підібрано тягодуттєвий пристрій – димосос ДН-21;

5. Вловлений пил після системи очищення потрапляє на вузол утилізації пилу, де проходить огрудкування у чашовому огрудковувачі. На виході отримують окатиші, які вторинно використовуються у агломераційному або доменному виробництві;

6. Проведено розрахунок основних техніко-економічних показників очищення конвертерного газу. На підставі проведених розрахунків було встановлено, що строк окупності капіталовкладень становить 3,87 років при коефіцієнті економічної ефективності 0,26 грн/(грн·рік).

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ВИКОРИСТАННЯ

1. Плавшуда К.В. Технології металургійного виробництва як чинник господарсько-правового забезпечення. *Вісник Національного університету «Юридична академія України імені Ярослава Мудрого»*.2013.№4.С.253-262;
2. Осипова А.В. Бескровная М.В. Сравнение эколого-экономических показателей мартеновского и электродугового производства стали на ПрАО «Донецксталь-МЗ». *Вісник студентського студентського наукового товариства ДонНУ імені Василя Стуса*. Донецьк, 2013.Т.1, №5. С.359-361;
3. Ярошенко А.В., Догман А.И., Берестюков Е.В., Некрасов И.А. Опыт Новолипецкого металлургического комбината в развитии конвертерного производства. *Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации*. Москва, 2013. №4. С.43-48;
4. Бондаренко С.А. Організаційно-економічний механізм формування і функціонування ринку екологічних інновацій. *Економічні інновації*. Одеса, 2014.№58. С.28-38;
5. Задихайло Д.Д. Екологічні інновації як форма міжгалузевої конвергенції господарського та екологічного права. *Економічна теорія та право*. Харків, 2016. №4(27). С.145-154;
6. Кузнєцова Т.В., Сіпайло Л.Г. Напрями впровадження екологічних інновацій в промисловому секторі регіону. *Проблеми формування та розвитку інноваційної інфраструктури* : тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції 19-21 травня 2011 р. Львів : Львівська політехніка, 2011. С.175-177;
7. Шнипко О.С. Інноваційне становище України: проблеми та перспективи. *Вісник Національного банку України*. Київ, 2008. С.20;
8. Бичковська А.А. Екологічні інновації промислових підприємств у забезпеченні сталого розвитку. *Бізнес, інновації, менеджмент: проблеми*

- та перспективи* : збірник тез доповідей I Міжнародної науково-практичної конференції (м. Київ, 23 квітня 2020 р.). Київ, 2020. С.158-159;
9. Кузьміна О.С. Аналіз підходів до трактування поняття «Сталий розвиток підприємства». *Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки*. Хмельницьк, 2015. Т.1.№5. С.13-21;
  10. Сталинский Д.В., Мантула В.Д., Рыжовский А.З., Семенов Д.В. Опыт УкрГНТЦ «Энергосталь» по разработке и внедрению высокоэффективных газоотводящих трактов конвертеров. *Межотраслевой научно-практический журнал «Пылегазоочистка»*. 2011. №2. С.11-14;
  11. Сталинский Д.В., Рыжовский А.З., Зимогляд А.В. Современные решения для реконструкции газоотводящих трактов конвертеров 250-350 т, работающих в Украине. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. Дніпро : Укрметалургінформ НТА, 2016. №2. С.125-130;
  12. Пирогов А.Ю., Мантула В.Д., Рыжавский А.З., Кривонос А.И., Коненко Г.М. Эффективное решение вопросов экологии и энергосбережения при реконструкции газоотводящих трактов конвертеров ОАО НТМК. *Экология и промышленность*. Харьков : УкрНТЦ «Энергосталь», 2004. С.33-36;
  13. Матиас Майн. Оптимизация пылеудаления в системах очистки конвертерного газа. *DaNews. Danieli за экологическую металлургию*. 2019. №181. С.30-31;
  14. Буторина И.В., Харлашин П.С., Ховалиц Ю.В. Снижение затрат энергоресурсов при производства стали на металлургических предприятиях Украины как способ повышения конкурентоспособности продукции. *Вісник Приазовського державного технічного університету. Технічні науки*. 2015. Т1.№30. С.59-66;

15. Технология производства стали в современных конвертерных цехах : учебник / С.В.Колпаков и др. Москва : Машиностроение, 1991. 464 с.;
16. Белый А.О., Неменюк Б.М. Экология промышленного производства : учебное пособие. Минск : БНТУ, 2016. 345 с. ;
17. Производство стали. В 4 т. Т.1 Процессы выплавки, внепечной обработки и непрерывной разливки / Д.А.Дюдкин, В.В.Кисиленко. Москва : «Теплотехник», 2008. 528 с.;
18. Федотова Е.С. Исследование выбросов от плавильной пыли от сталеплавильных агрегатов на основе математической модели её образования : дис. канд.техн.наук : 05.06.07. Санкт-Петербург, 2008. 217 с. ;
19. Свяжин А.Г. Механизм образования пыли при производстве стали. *Сталь*. Москва, 1999. №12. С.78-81;
20. Филипов С.И., Крашенников М.Г., Бородин А.Н. Динамика газообразования и кипения при обезуглероживании Fe-C расплавов. *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*. Новокузнецк, 1977. №5. С.8-12.;
21. Технология производства стали в современных конвертерных цехах : учебник / С.В.Колпаков и др. Москва : Машиностроение, 1991. 464 с. ;
22. Кравец В.А., Темнохуд В.А. Экспериментальные исследования образования бурого дыма при переливах чугуна. *Металлургия*. ДонНТУ, 2009. Вып.11(59).;
23. Семькин С.И., Поляков В.Ф., Семькина, Е.В. Кияшко Т.С. Особенности пылевыведения при выплавке металла в условиях наложения на ванну низковольтных электрических потенциалов. *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии*. Сб.тр. ИЧМ. Днепропетровск, 2010. №21. С.149-154.;
24. Старк С.Б. Газоочистные аппараты и установки : учебник для вузов. Москва : Металлургия , 1990. 400 с.;

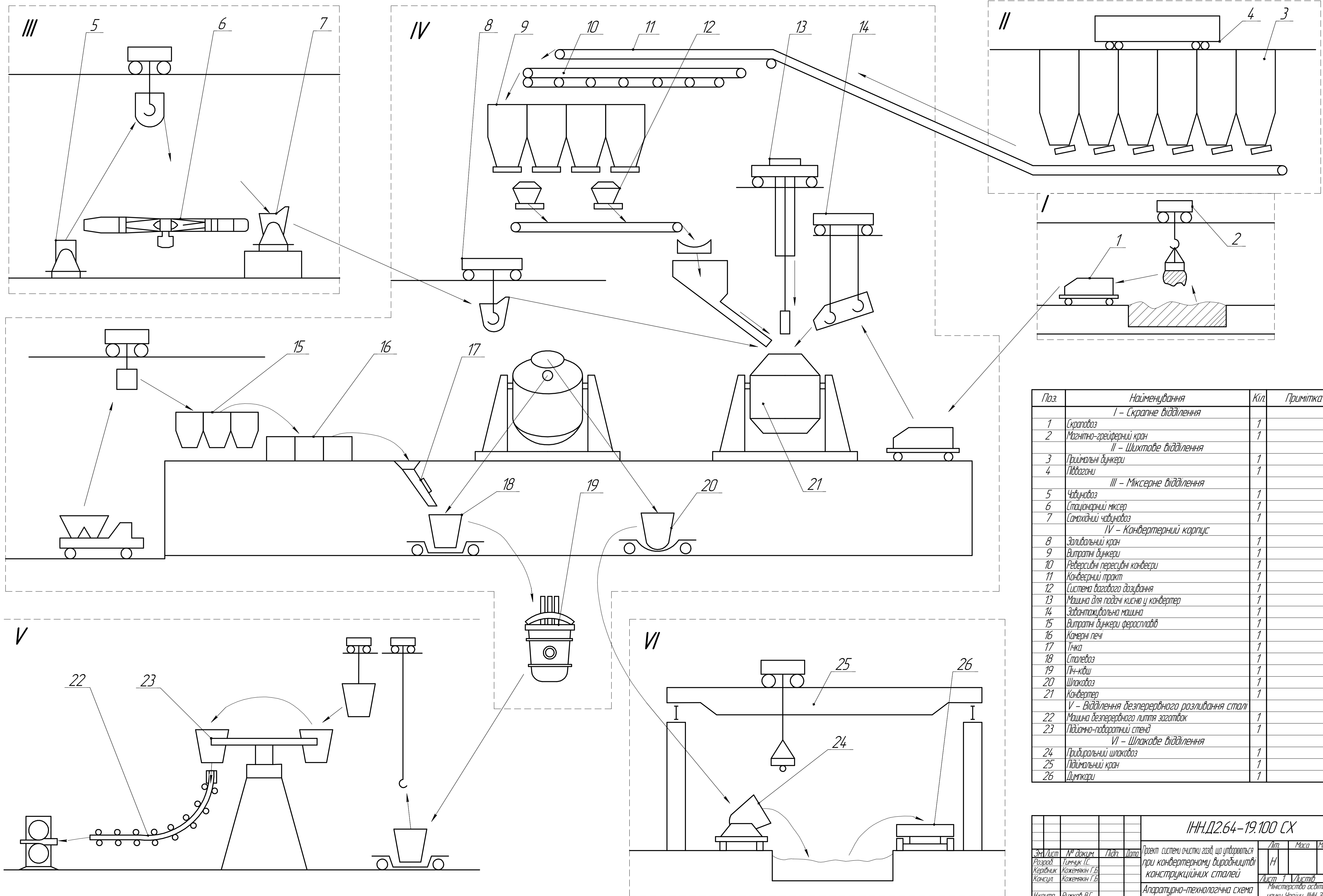
- 25.Тимонин А.С. Инженерно-экологический справочник : в 3 т. / Калуга : ред. изд.Н.Бочкаревой, 2003. Т.1. 917 с. ;
- 26.Тюляев Д.В., Куберский С.В., Проценко М.Ю.Анализ физико-химических свойств и технологической ценности конвертерной пыли. *Сборник научных трудов ГОУ ВПО ЛНР*. 2019. №13(56). С.34-39.;
- 27.Меламуд С.Г., Шاپилло В.В., Мальцев В.А., Юрьев Б.П. Разработка технологии переработки цинксодержащих пылей металлургического производства. *Сталь*. 2012. №8. С.78-81.;
- 28.Mihok, L. Recycling of oxygen converter fluedust into oxygen converter charge.*Metalurgija*. 2003. № 42 (4). P.271–275.;
- 29.Алиев Г.М-А. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов : справ.изд. Москва : Металлургия, 1986. 544 с. ;
- 30.Денисов С.І. Уловлювання та утилізація пилу і газів: навч.посібник. Київ : Вища шк., 1992. 333 с. ;
- 31.Ветошкин А.Г. Инженерная защита атмосферы от вредных выбросов : учебн.-практич. пособие. Москва : Инфра-Инженерия, 2016. 316 с. ;
- 32.Котлы-утилизаторы и котлы энерготехнологические : отраслевой каталог. Москва : НИИЭИНФОРМЭНЕРГОМАШ, 1985. 83 с. ;
- 33.Пылеулавливание в металлургии : справ.изд / А.А. Гурвиц и др. Москва : Металлургия, 1984. 336 с.;
- 34.Геверовский Б.З. Расчеты устройств для очистки промышленных газов о пыли : учеб. пособие. Киев : УМК ВО,1991. 92 с. ;
- 35.ГичёвЮ.А.Очистка газов. Часть II : конспект лекций. Днепропетровск : НМетАУ, 2015. 48 с.;
- 36.Павлюк Ю.С., Малишева І.В. Методичні вказівки до курсової роботи із дисципліни «Водоповітряне господарство металургійних заводів». Запоріжжя : ЗДІА,2002. ;
- 37.Тягодутьевые машины «РУССОЛ» : каталог. URL: <http://russol.org/> (дата звернення 01.11.2020);

38. Швыдкий В.С., Ладыгичев М.Г. Очистка газов : справочное издание. Москва : Теплоэнергетик, 2002. 640 с.;
39. Цыбулько Л.А. Технология использования полезных ископаемых» : конспект лекций. Днепропетровск, 2006. 117 с.;
40. Горячева Т.В., Бабенко М.О. Матеріалознавство : конспект лекцій. Красноармійськ : КІДонНТУ, 2011. 91 с.;
41. Цыбулько Л.А. Технология использования полезных ископаемых : конспект лекций. Днепропетровск, 2016. 117 с.;
42. Шенн В.С., Шутилин Ю.Ф., Гриб А.П. Основные процессы резинового производства : учебное пособие для ВУЗов. Ленинград : Химия, 1988. 160 с.
43. Роторные смесители СР : каталог товаров: веб сайт. URL : <https://kvmshe-plus.all.biz/rotornye-smesiteli-sr-g3011815> (дата звернення: 02.11.2020);
44. Валковые грохоты SR : каталог Sandvik Mining: веб сайт. URL : <https://qsgrp.com/sale/static-dso/grohoty/rolikovye-grohoty/> (дата звернення: 02.11.2020);
45. Отраслевой каталог ООО «Строммашина» : каталог оборудования: веб сайт. URL: <http://www.strommash.ru/category/catalog/> (дата звернення 03.11.2020);
46. Черенков В.В. Промышленные приборы и средства автоматизации. Ленинград : Машиностроение, 1987. 847 с.;
47. Про затвердження правил охорони праці в металургійній промисловості : затв. наказом Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 22 грудня 2008 № 289. *Офіційний вісник України*. 2009. №11. 84 с.;
48. Зеньковский М.М. Охрана труда в конвертерном производстве. Москва. : Металлургия, 1973. 151 с.;
49. Вышинский В.В. Охрана труда в черной металлургии. Київ : Техника, 1986. 192 с.;

- 50.Ильинский Б.Д. Охрана труда на предприятиях черной металлургии. Москва : Металлургия, 1997. 256 с.;
- 51.Белоконь К.В., Рижков В.Г., Куріс Ю.В., Манідіна Є.А. Основы охорони праці : навч.-метод. посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2015. 180 с.;
- 52.Перельман С.Т., Зикеев А.С., Вовк Н.Н. Безопасность труда в конвертерных цехах. Донецк : Вища школа, 1983. 172 с.;
- 53.Беренда Н.В., Троїцька О.О., Манідіна Є.А. Техніко-економічне обґрунтування проектних рішень : навч.-метод.посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2018. 196 с.

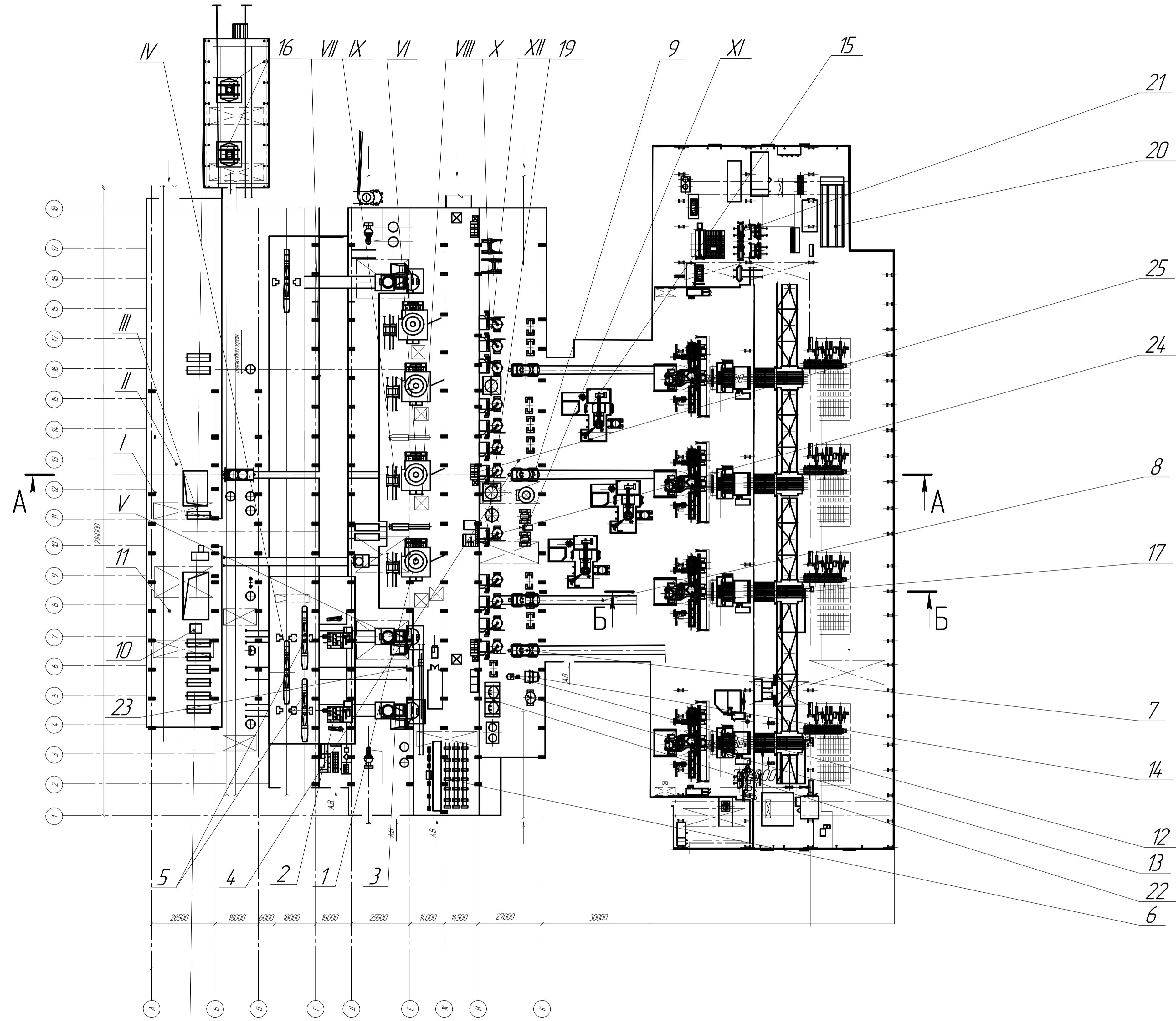


# Апаратно-технологічна схема киснево-конвертерного виробництва



Поз.	Найменування	Кіл.	Примітка
<b>I - Скрাপове відділення</b>			
1	Скраповоз	1	
2	Магнітно-грейферний кран	1	
<b>II - Шихтове відділення</b>			
3	Приймальні бункери	1	
4	Підвагани	1	
<b>III - Міксерне відділення</b>			
5	Чадуновоз	1	
6	Стационарний міксер	1	
7	Самохідний чадуновоз	1	
<b>IV - Конвертерний корпус</b>			
8	Заливний кран	1	
9	Витратні бункери	1	
10	Ревверсійні пересувні конвертери	1	
11	Конвертерний тракт	1	
12	Система газобого дозування	1	
13	Машина для подачі кисню у конвертер	1	
14	Забантажувальна машина	1	
15	Витратні бункери феросплавів	1	
16	Камерні печі	1	
17	Тичка	1	
18	Сталевоз	1	
19	Ліч-кідш	1	
20	Шлаковоз	1	
21	Конвертер	1	
<b>V - Відділення безперервного розливання сталі</b>			
22	Машина безперервного лиття заготовок	1	
23	Підійомно-повертний стелд	1	
<b>VI - Шлакове відділення</b>			
24	Прибиральний шлаковоз	1	
25	Підіймальний кран	1	
26	Димгаря	1	

				<b>ІНН.Д.2.64-19.100 СХ</b>		
Зам. Лист	№ док.м.	Підп.	Дата	Проект системи очистки газів, що утворюється при конвертерному виробництві конструкційних сталей	Лист	Маса
Розроб.	Личук І.С.				11	
Керівник	Коженьяк Г.Б.				11	
Консульт.	Коженьяк Г.Б.					
Монитор.	Рижков В.Г.			Апаратно-технологічна схема киснево-конвертерного виробництва	Міністерство освіти і науки України, ІНН ЗНУ, каф. ПГОП, гр. 8.1832	
Затв.	Коженьяк Г.Б.					



Поз.	Найменування	Кіл.	Прим.
1	Кисневий конвертер місткістю 160 т.	4	
2	Установка десульфурації чавуну	1	
3	Установка скачування шлаку	3	
4	Чавундовоз самохідний зі зважувальним пристроєм і механізмом нахилу заливального ковша	2-4	
5	Ковші для чавуну, 140 т	2-4	
6	Сталевіз самохідний зі зважувальним пристроєм	3	
7	Сталевіз самохідний для двох ковшів	1	
8	Шлаковіз самохідний об'ємом	3	
9	Скраповіз самохідний для двох ковшів	2	
10	Ваги для зважування ковшів з ломом	2	
11	Ваги для зважування легуючих	2	
12	Телескопічний підйомник	1	
13	Візок домкратний	1	
14	Домкратний пристрій	1	
15	Установка піч-ковш	3	
16	Міксер	2	
17	Машина безперервного лиття заготовок (МБ/13)	4	
18	Візок самохідний для проміжних ковшів	1	
19	Пристрій для сушіння і високотемпературного нагріву сталерозливних ковшів	4	
20	Машина для надівки футеровки сталерозливних ковшів	1	
21	Пристрій сушки проміжних ковшів	2	
22	Пристрій охолодження сталерозливних ковшів	1	
23	Пристрій нагріву і сушки металевих ковшів	1	
24	Машина ломки футеровки конвертерів	1	
25	Машинна ломка футеровки сталерозливних ковшів	1	

*Підйомно-транспортне устаткування*

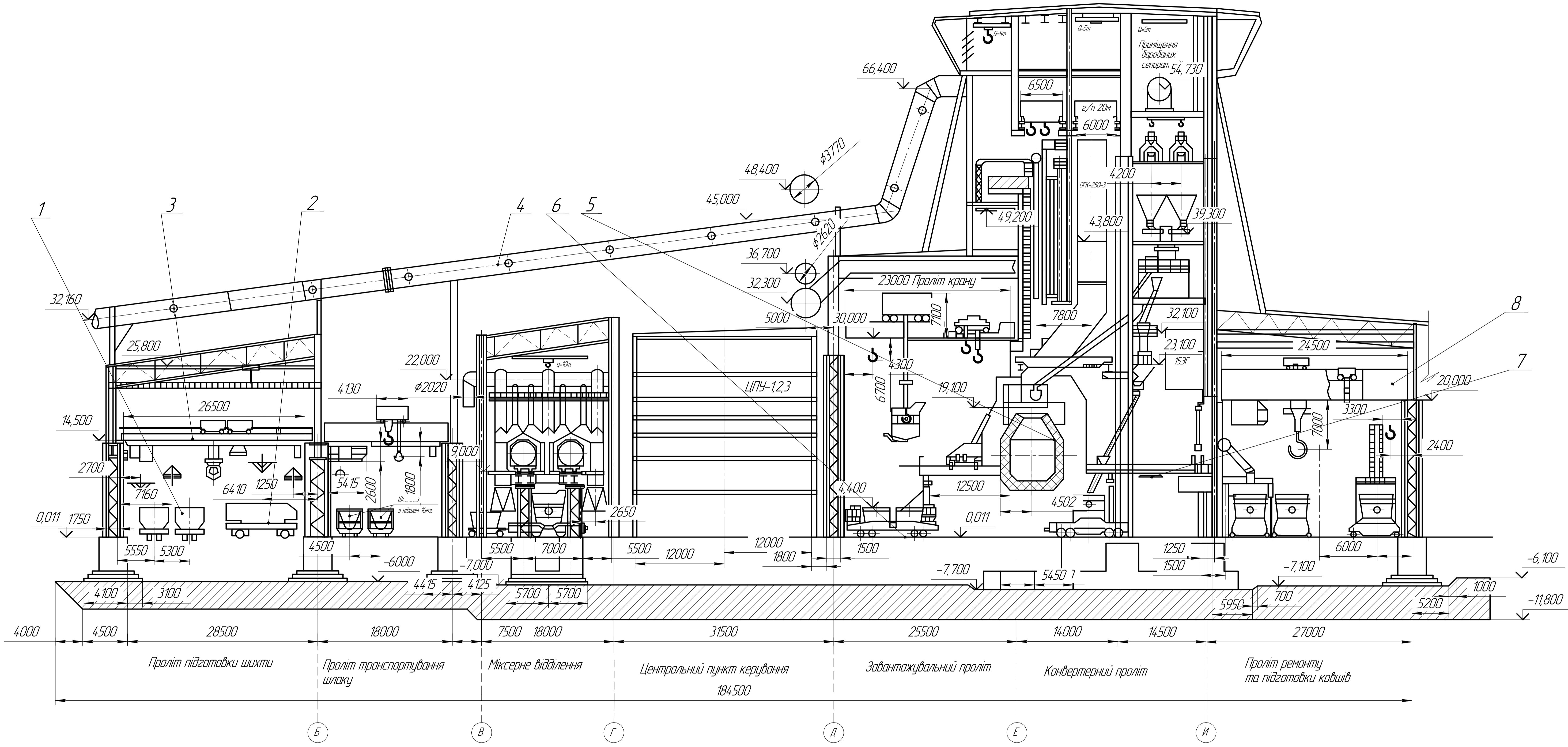
I	Кран мостовий електричний з поворотним візком.	2
II	Кран магнітно-грейферний	2
III	Кран мостовий електричний	2
IV	Кран залівний (розливний)	2
V	Кран мостовий електричний ломузавалочний	1
VI	Кран підвісний однопалочний	2
VII	Кран підвісний однопалочний	1
VIII	Кран мостовий електричний	1
IX	Кран мостовий електричний	2
X	Кран мостовий електричний	1
XI	Кран консольний	1
XII	Кран мостовий електричний	2
XIII	Кран мостовий електричний	3
XIV	Кран мостовий електричний з поворотним візком	1

Лист 2  
Листів 11  
Масштаб 1:100  
Міністерство освіти і науки України ІНН ЗНУ  
каф. ПЕОП, гр. 8/1932

**ІН.Д2.64-19.002 ЗВ**

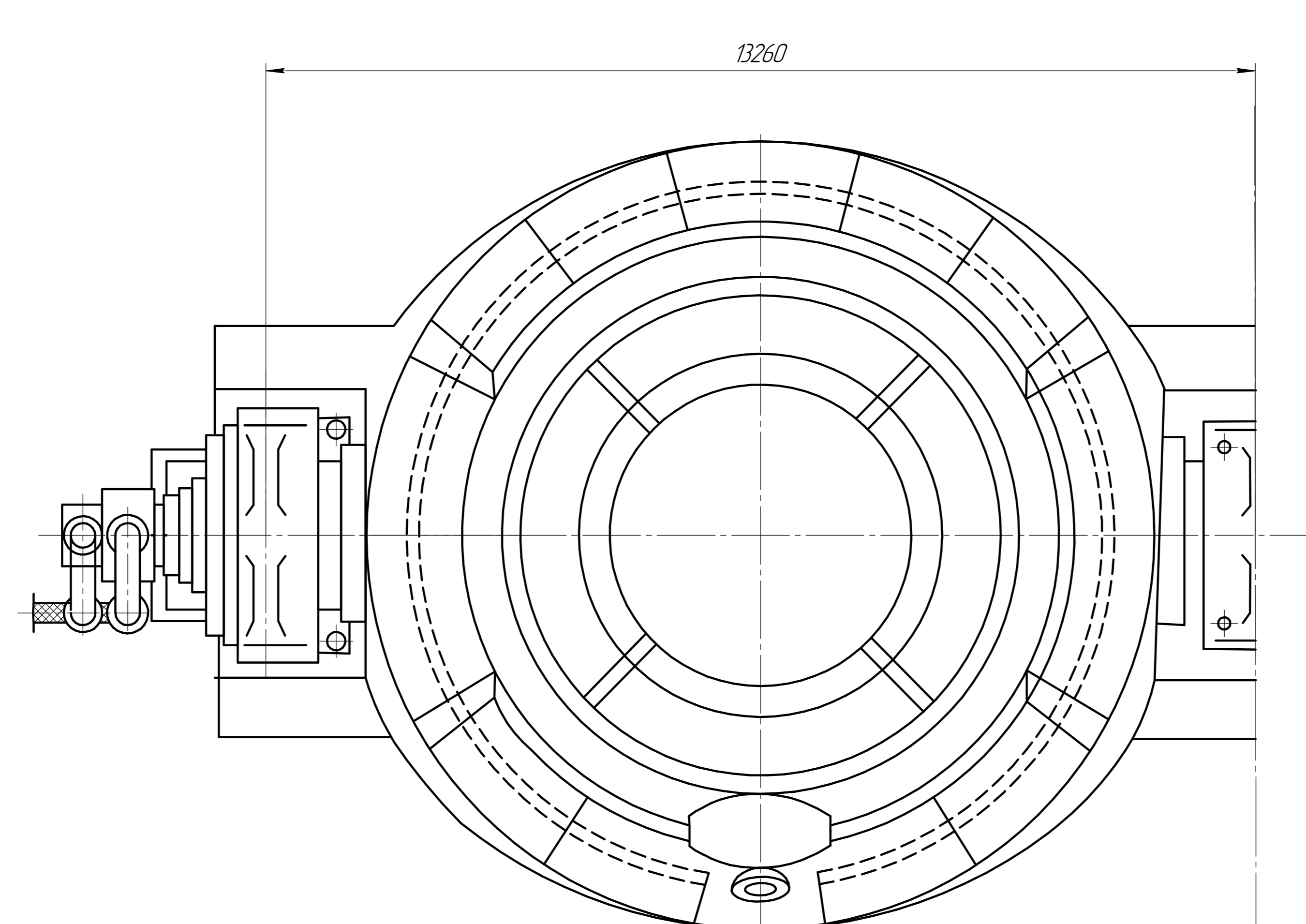
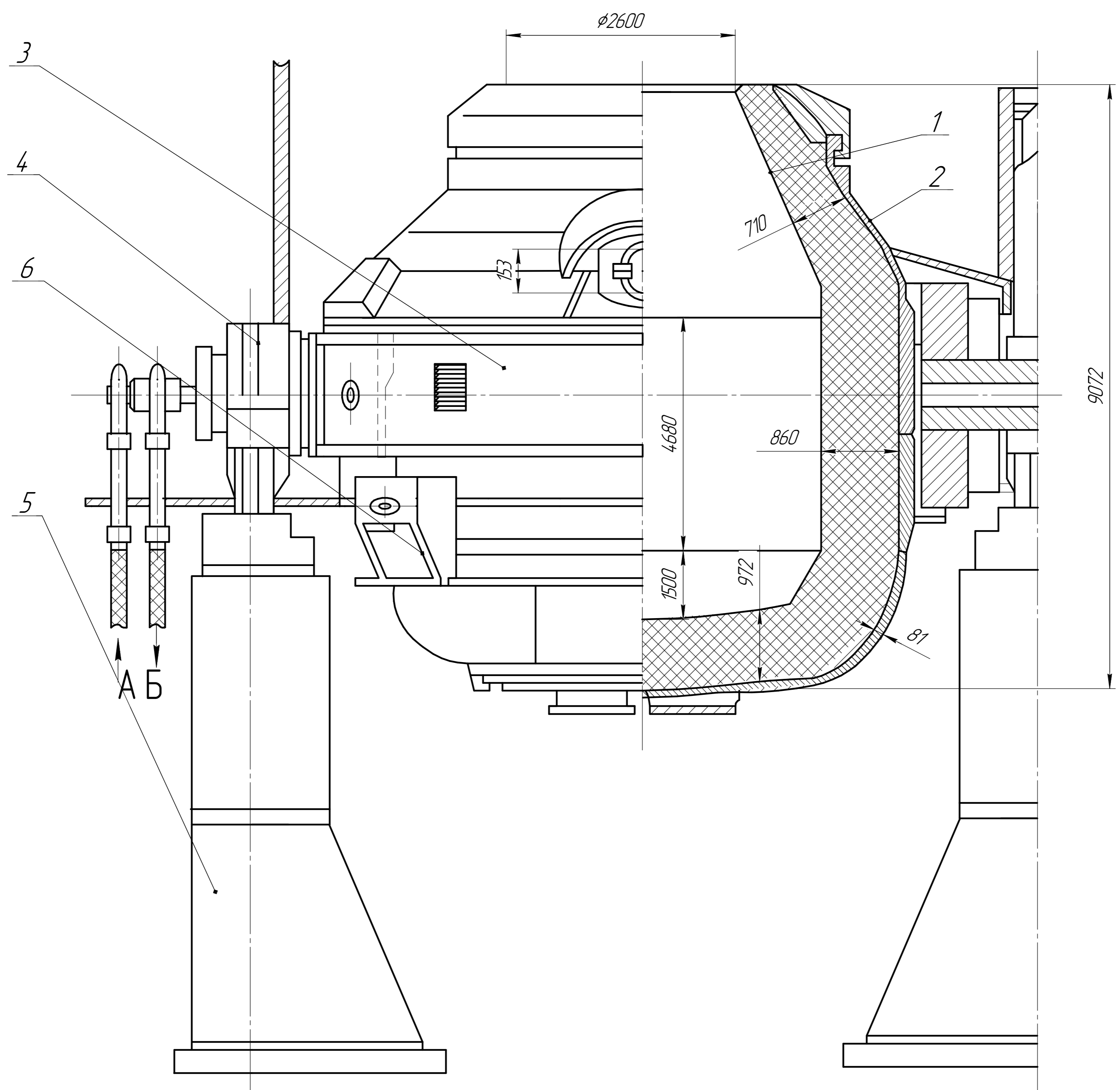
Зм. Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Проект системи очистки газів, що утворюється при конвертерному виробництві конструкційних сталей	Лит.	Маса	Маштаб
Розроб.	Тимчук І.С.				Н		1:100
Керівник	Коженьяк Г.Б.				Лист 2 Листів 11		
Консульт.	Коженьяк Г.Б.				Міністерство освіти і науки України ІНН ЗНУ, каф. ПЕОП, гр. 8/1932		
Начальник	Рижков В.Г.			План киснево-конвертерного цеху			
Затв.	Коженьяк Г.Б.						

A-A



Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
1	ИИ.Д.2.64-19.301	Совки для скрапу	1	
2	ИИ.Д.2.64-19.302	Скраповіз для двох совків	1	
3	ИИ.Д.2.64-19.303	Кран магнітно-грейферний	1	
4	ИИ.Д.2.64-19.304	Газодіодний тракт конвертерних газів	1	
5	ИИ.Д.2.64-19.305	Конвертер	1	160 т
6	ИИ.Д.2.64-19.306	Самохідний шлаковіз	1	
7	ИИ.Д.2.64-19.307	Кришка сталева	1	
8	ИИ.Д.2.64-19.308	Кран мастовий електричний ливарний	1	

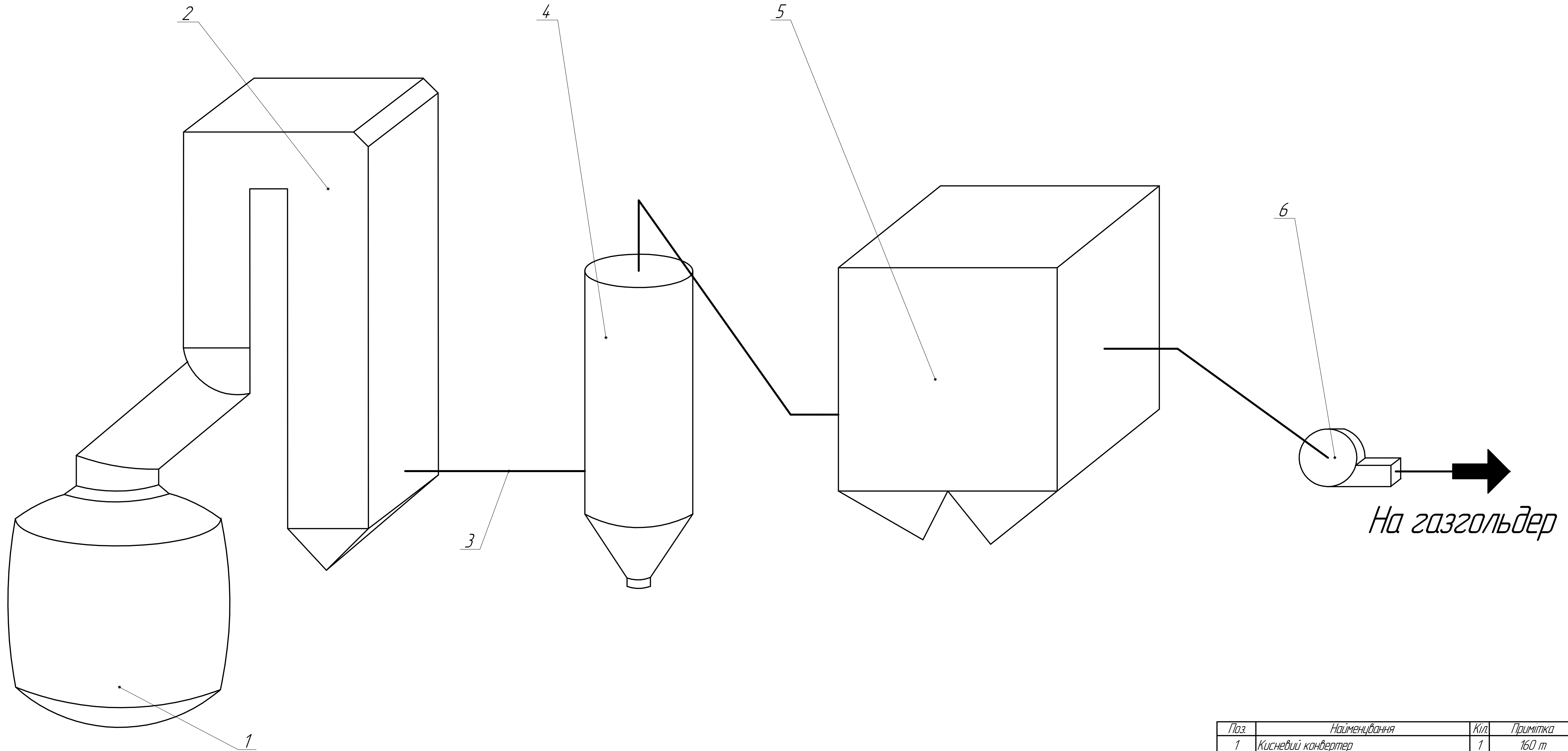
ИИ.Д.2.64-19.300 ЗВ					Лит.	Маса	Маштаб
Зам. Лист	№ док.м.	Підп.	Дата	Проект системи очистки газів, що утворюються при конвертерному виробництві конструкційних сталей	Н		1:200
Розроб.	Тимчук І.С.				Лист 3	Листів	11
Керівник	Коженьяк Г.Б.				Міністерство освіти і науки України, ІНН ЗНУ, каф. ПГОП, гр. 8/1839		
Консульт.	Коженьяк Г.Б.						
Начальник	Рижков В.Г.			Розріз киснево-конвертерного цеху			
Затв.	Коженьяк Г.Б.						



Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
1	ІНН.Д.2.64-19.4.01	Литий шолом	1	
2	ІНН.Д.2.64-19.4.02	Корпус конвертору	1	
3	ІНН.Д.2.64-19.4.03	Зварні сектори	2	
4	ІНН.Д.2.64-19.4.04	Цапфи	2	
5	ІНН.Д.2.64-19.4.05	Опори конвертору	2	
6	ІНН.Д.2.64-19.4.06	Нижній кранштейн	8	

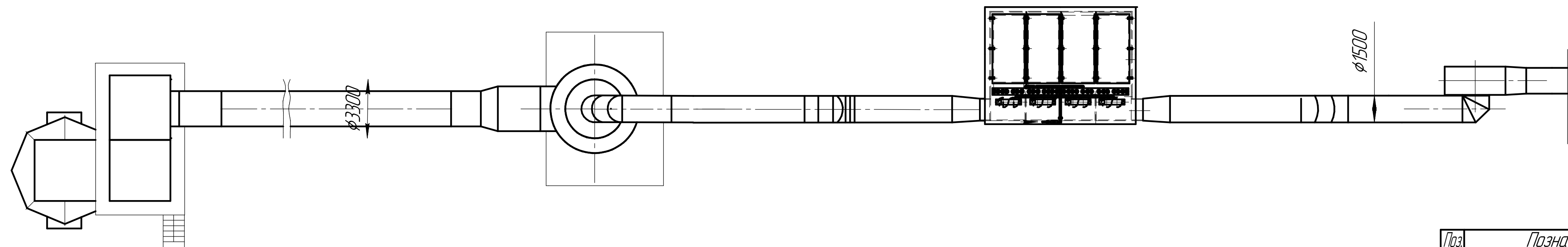
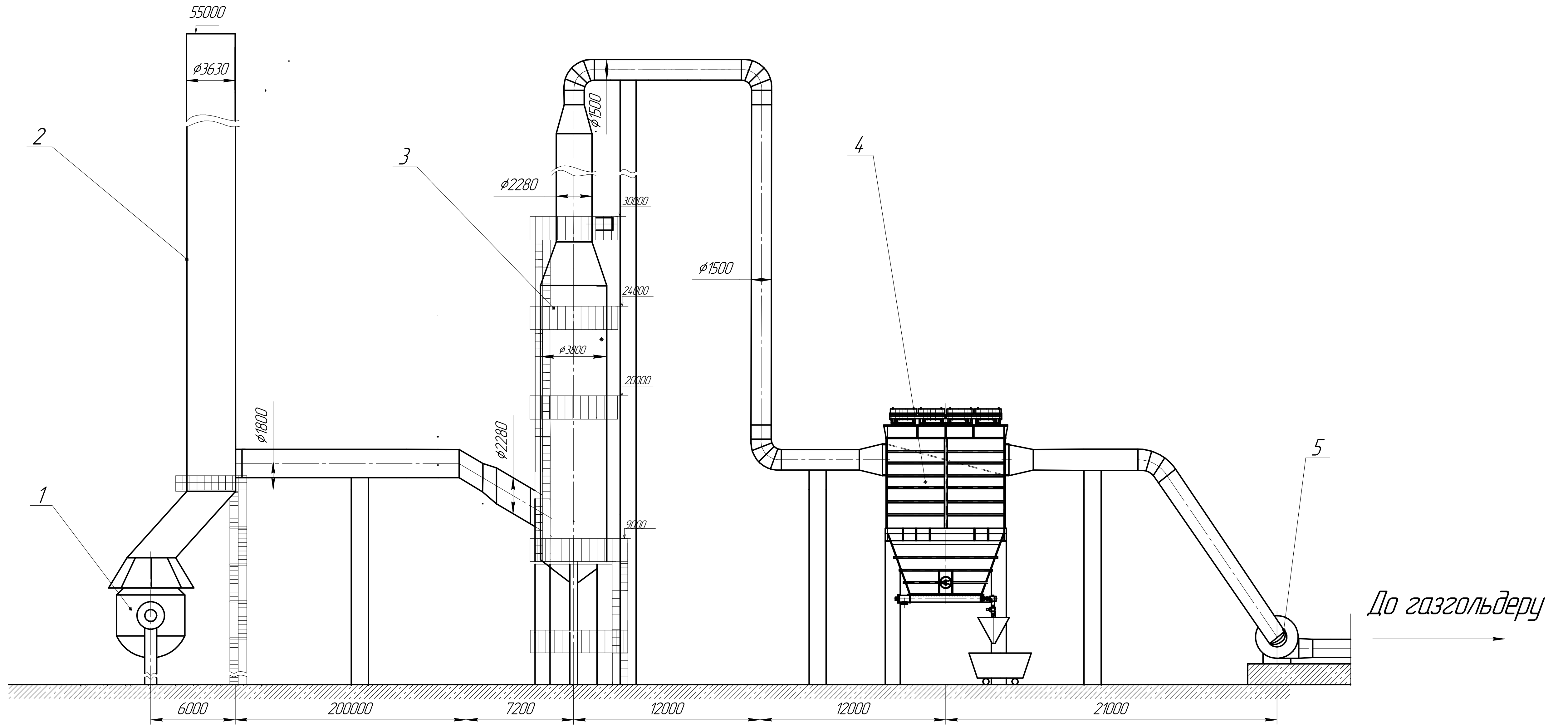
<b>ІНН.Д.2.64-19.4.00 ЗВ</b>					
Зм. Лист	№ док. ум.	Підп.	Дата	Проект системи очистки газів, що утворюється при конвертерному виробництві конструкційних сталей	
Розроб.	Личиж. І.С.				
Керівник	Кожем'які Г.Б.				
Консил.	Кожем'які Г.Б.				
Н.контр.	Рижко В.Г.			Кисневий конвертер 160 т	
Затв.	Кожем'які Г.Б.				
			Лит.	Маса	Маштаб
			Н		1:50
			Лист 4 з 11		
			Міністерство освіти і науки України, ІНН ЗНУ, каф. ПГОП, зв. 8.1832		



Поз.	Найменування	Кіл.	Примітка
1	Кисневий конвертер	1	160 т
2	Котел-утилізатор	1	ОКГ-180
3	Газопровід	1	
4	Випарний скрубдер	1	АКРП-3,8
5	Рукавний фільтр	1	ФРП-1200
6	Вентилятор	1	ДН-21

				ІНН.Д2.64-19500 СХ		
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Лист	Маса
Розроб.	Тимчук І.С.				Н	
Керівник	Хоженяк Г.Б.				Лист 5	Листів 11
Консульт.	Хоженяк Г.Б.				Міністерство освіти і науки України, ІНН ЗНУ, каф. ПГОП, гр. 8.1632	
Начальник	Рижко В.Г.				Принципова схема системи газозачищення	
Затверд.	Хоженяк Г.Б.				Копіював	

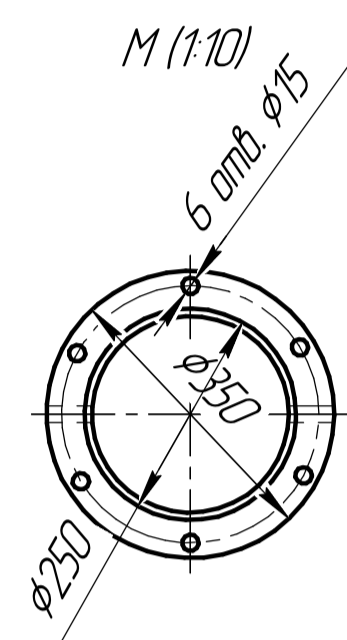
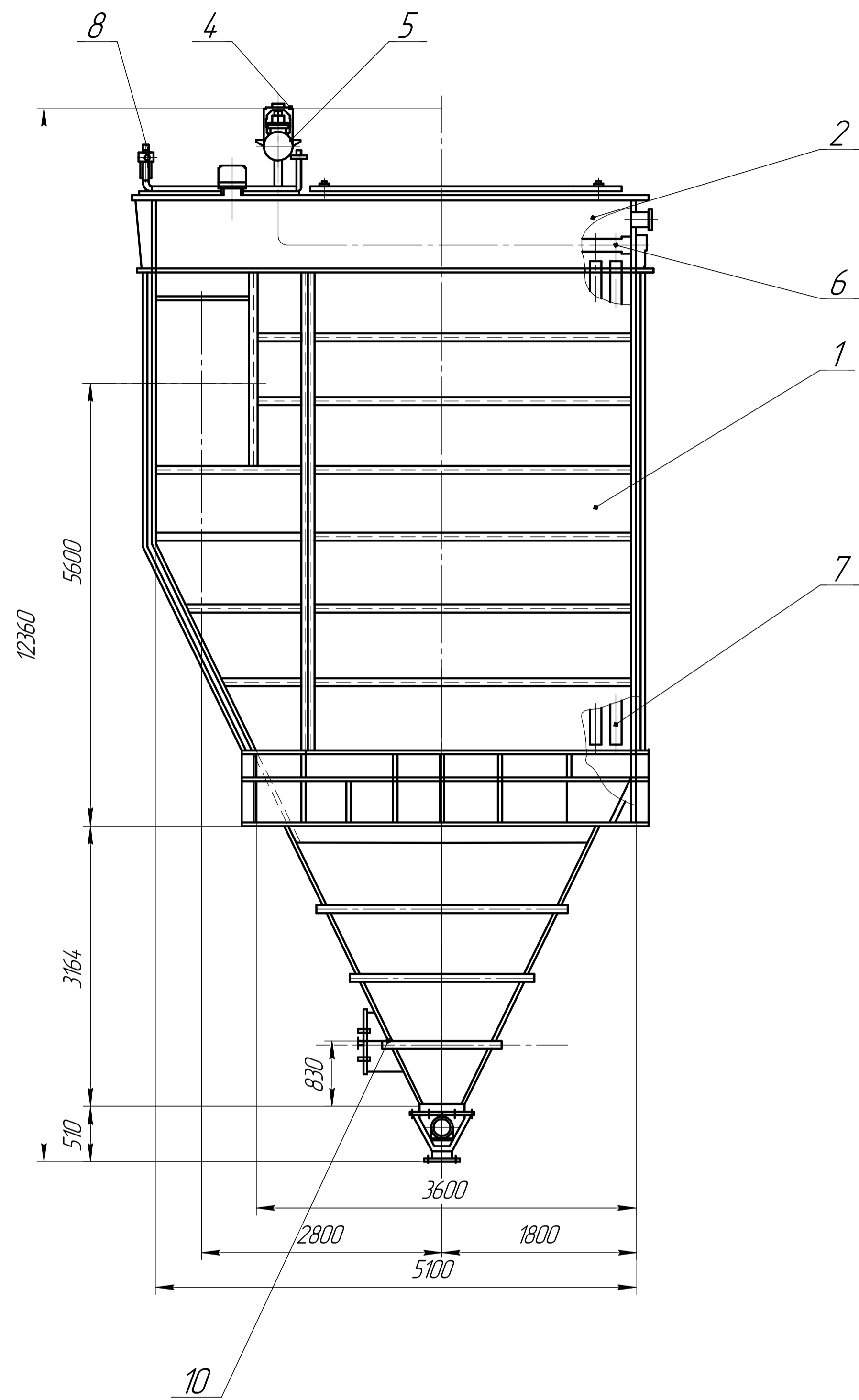




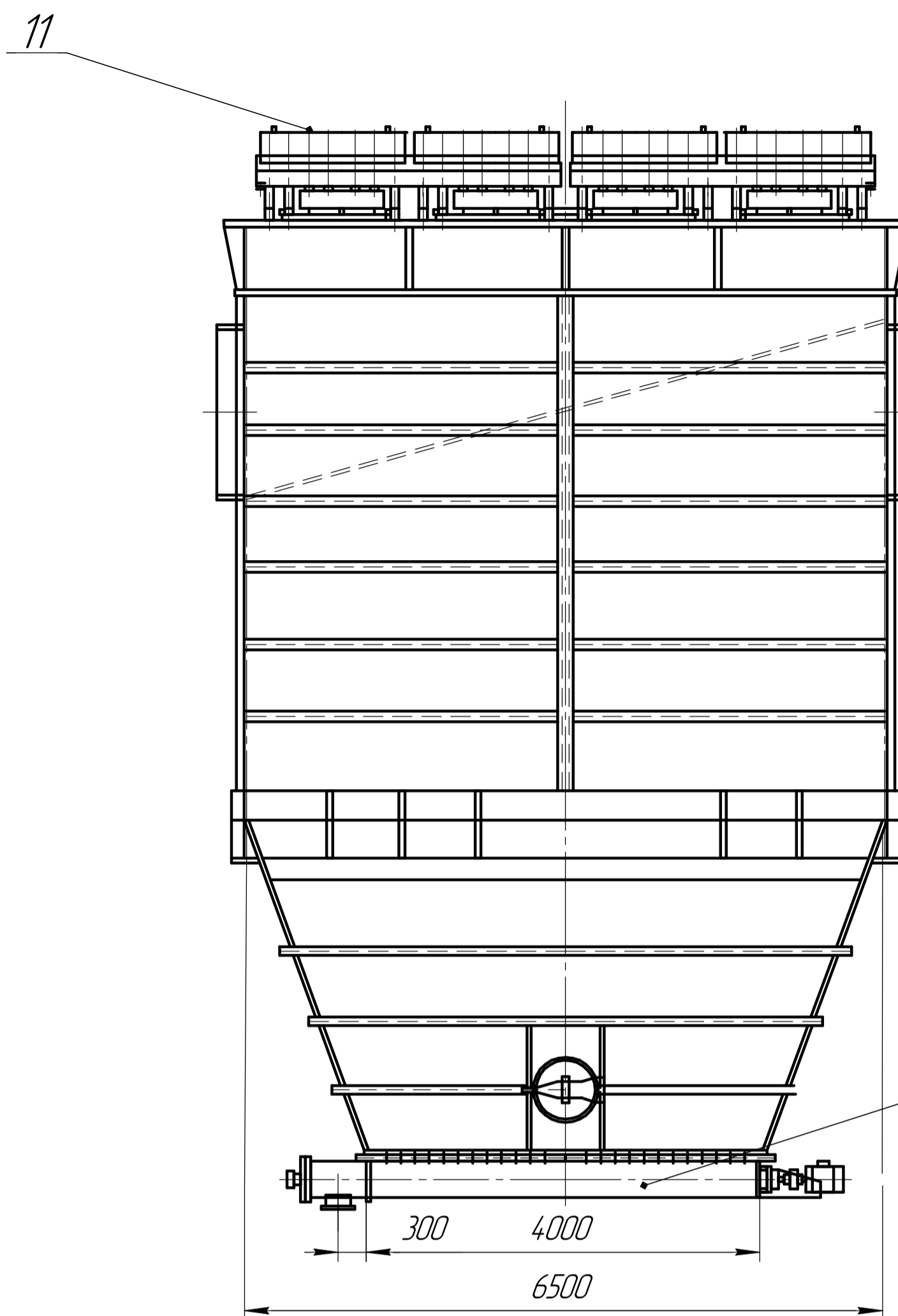
Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
1	ІНН.Д2.64-19.601	Конвертер	1	160 т
2	ІНН.Д2.64-19.602	Котел-утилізатор	1	ОКІ-180
3	ІНН.Д2.64-19.603	Порожнистий скриджер	1	АКРП-3,8
4	ІНН.Д2.64-19.604	Рукавний фільтр	1	ФРП-1200
5	ІНН.Д2.64-19.605	Димтяг	1	ДН-21

				ІНН.Д2.64-19.600 ЗВ		
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Лист	Маса
Проект системи очищення газів, що утворюється при конвертному виробництві конструкційних сталей					11	1,20
Розріз системи газоочищення					Лист 6	Листів 11
Міністерство освіти і науки України, ІНН ЗНУ, каф. ПГОП, гр. 8.1832						

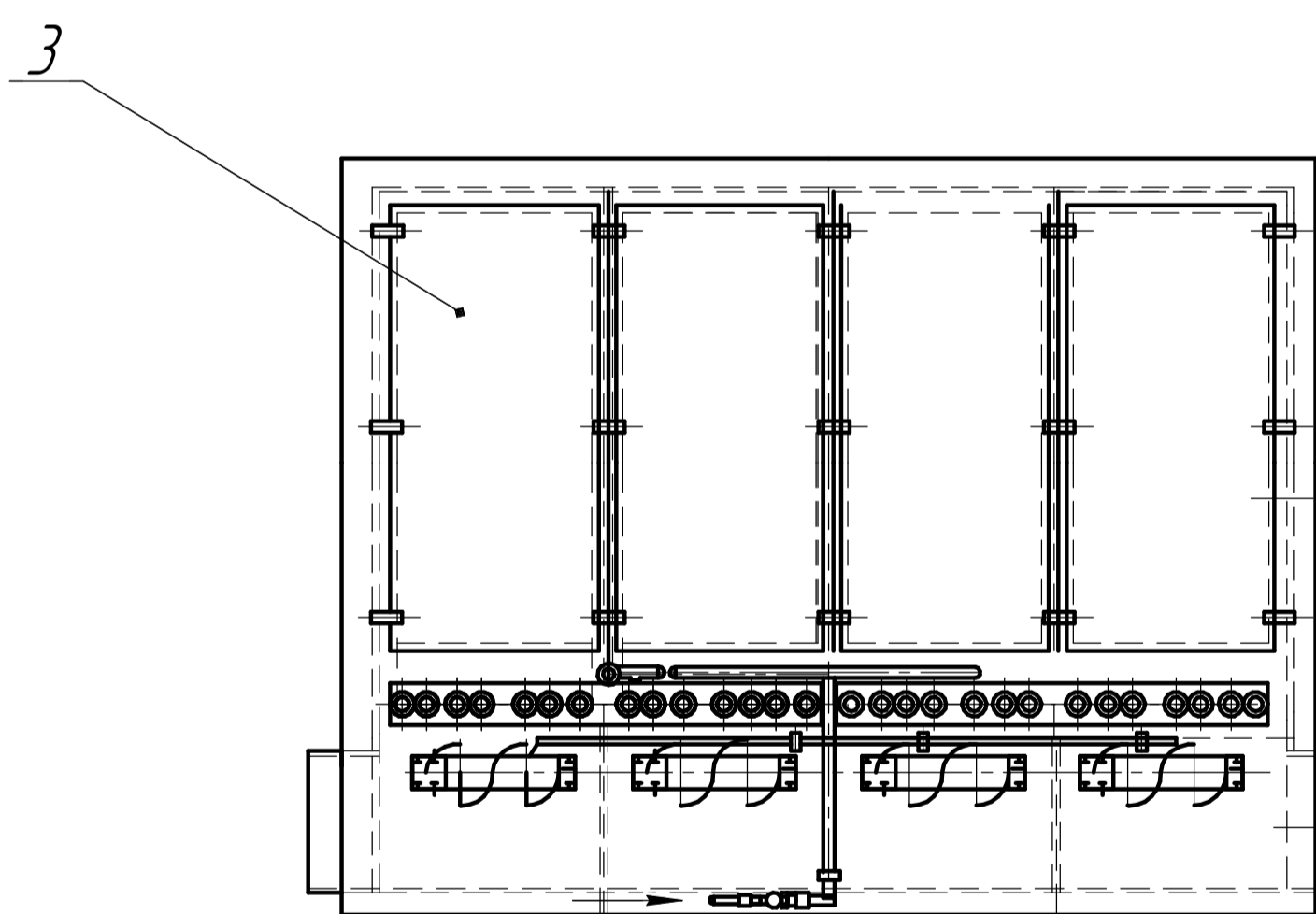
Лист № 1  
Лист № 2  
Лист № 3  
Лист № 4  
Лист № 5  
Лист № 6  
Лист № 7  
Лист № 8  
Лист № 9  
Лист № 10  
Лист № 11



Вихід очищеного газу



Вхід забрудненого газу



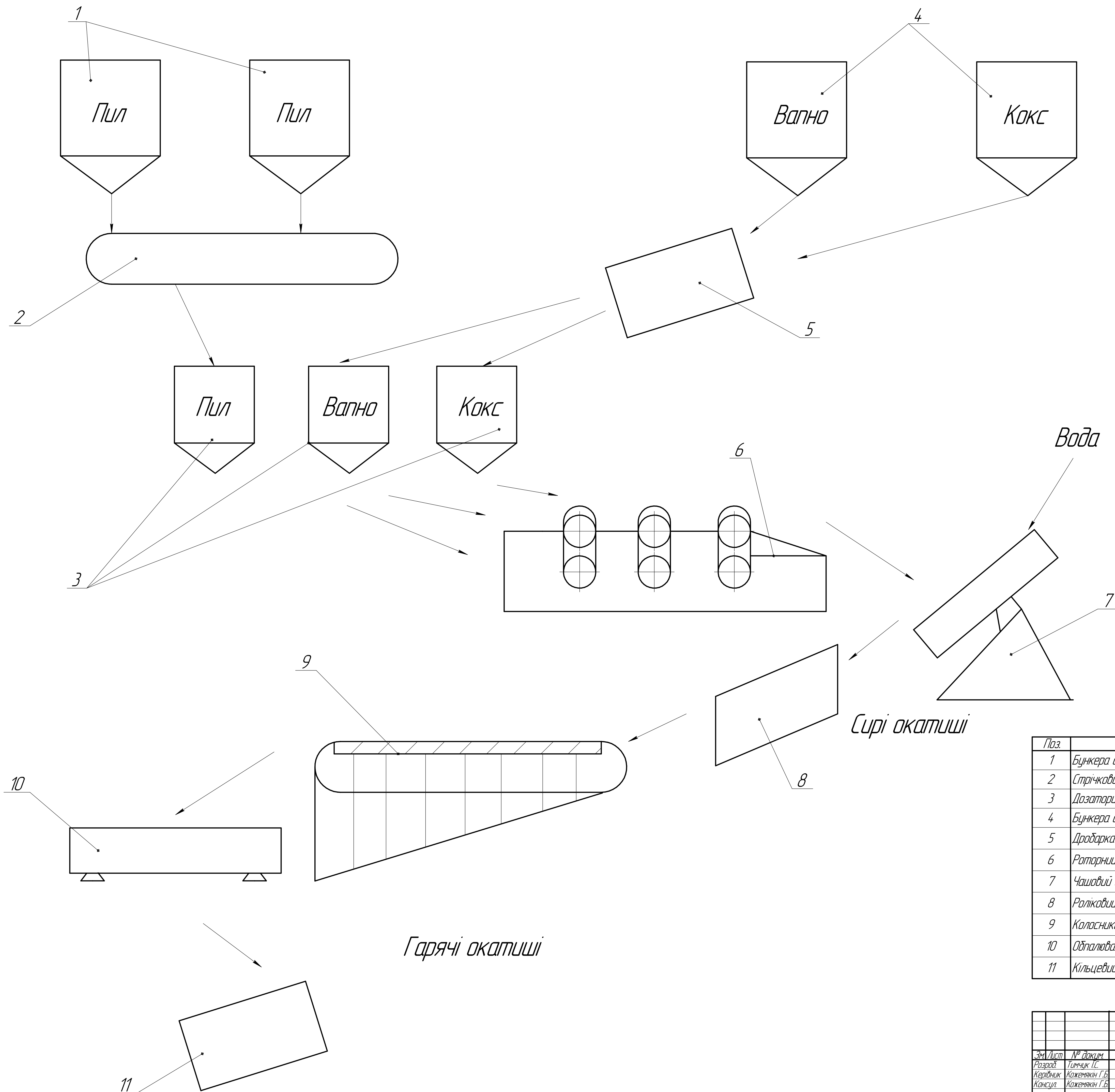
Технічна характеристика:

Продуктивність, м <sup>3</sup> /год	110000
Площа фільтрування, м <sup>2</sup>	1200
Кількість фільтрувальних елементів, шт	448
Довжина фільтрувального елемента, мм	6300
Маса фільтра, т	33,9
Витрата стислого повітря, м <sup>3</sup> /хв	3,6

Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
1	ІНН.Д2.64-19.701	Корпус фільтра	1	
2	ІНН.Д2.64-19.702	Камера чистого газу	1	
3	ІНН.Д2.64-19.703	Кришка	1	
4	ІНН.Д2.64-19.704	Клапан для продування	1	
5	ІНН.Д2.64-19.705	Накопювач стислого повітря	1	
6	ІНН.Д2.64-19.706	Роздавальний коректор	1	
7	ІНН.Д2.64-19.707	Фільтрувальний елемент	1	
8	ІНН.Д2.64-19.708	Система регулювання стислого повітря	1	
9	ІНН.Д2.64-19.709	Вузел вивантаження пилу	1	
10	ІНН.Д2.64-19.710	Люк	1	
11	ІНН.Д2.64-19.711	Корпус, який утеплено	1	

				ІНН.Д2.64-19.700.3В		
Зм. Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Проект системи очистки газів, що утворюється при конвертерному виробництві конструкційних сталей	Лист	Маса
Розроб.	Тимчук І.С.				Н	150
Керівник	Коженьян Г.Б.					
Консульт.	Коженьян Г.Б.					
Начальн. Зап.	Рижко В.Г.			Рукавний фільтр ФРІР-1200	Лист 7 з 11	
	Коженьян Г.Б.					

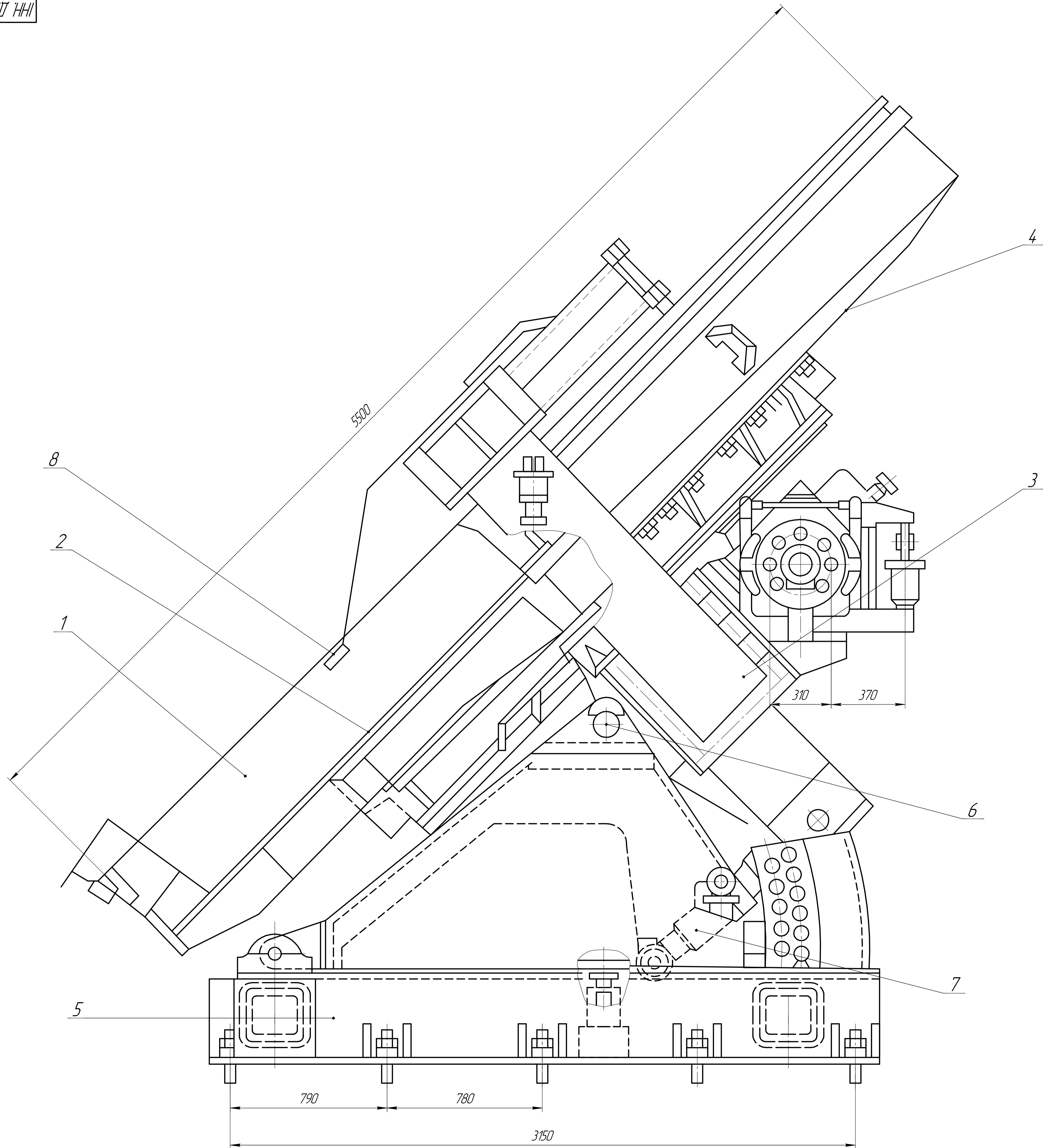
Міністерство освіти і науки України ІНН ЗНУ каф. ПЕОП, зв. 8.1839



Поз.	Найменування	Кіл.	Примітка
1	Бункера для накопичування пилу	2	
2	Стрічковий живильник	1	
3	Дозатори	3	
4	Бункера для кокса та вапна	2	
5	Дробарка	1	
6	Роторний змішувач	1	CP-520x08(2)
7	Часовий огрудкувач	1	
8	Роліковий грохот	1	SR1234
9	Колосникова решітка	1	
10	Обпалювальна машина	1	OK-108
11	Кільцевий охолоджувач	1	

				<b>ІНН.Д2.64-19.800 СХ</b>				
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Проект системи очистки газів, що утворюється при конвертерному виробництві конструкційних сталей	Лист	Маса	Маштаб
Розроб.	Тимчук І.С.					Н		
Керівник.	Хоменяк Г.Б.					Лист 8	Листів 11	
Консульт.	Хоменяк Г.Б.					Принципова схема утилізації вловленого пилу		
Начальн. Зап.	Рижко В.Г.					Міністерство освіти і науки України, ІНН ЗНУ, каф. ПГОП, гр. 8.1632		
	Хоменяк Г.Б.					Копіював		





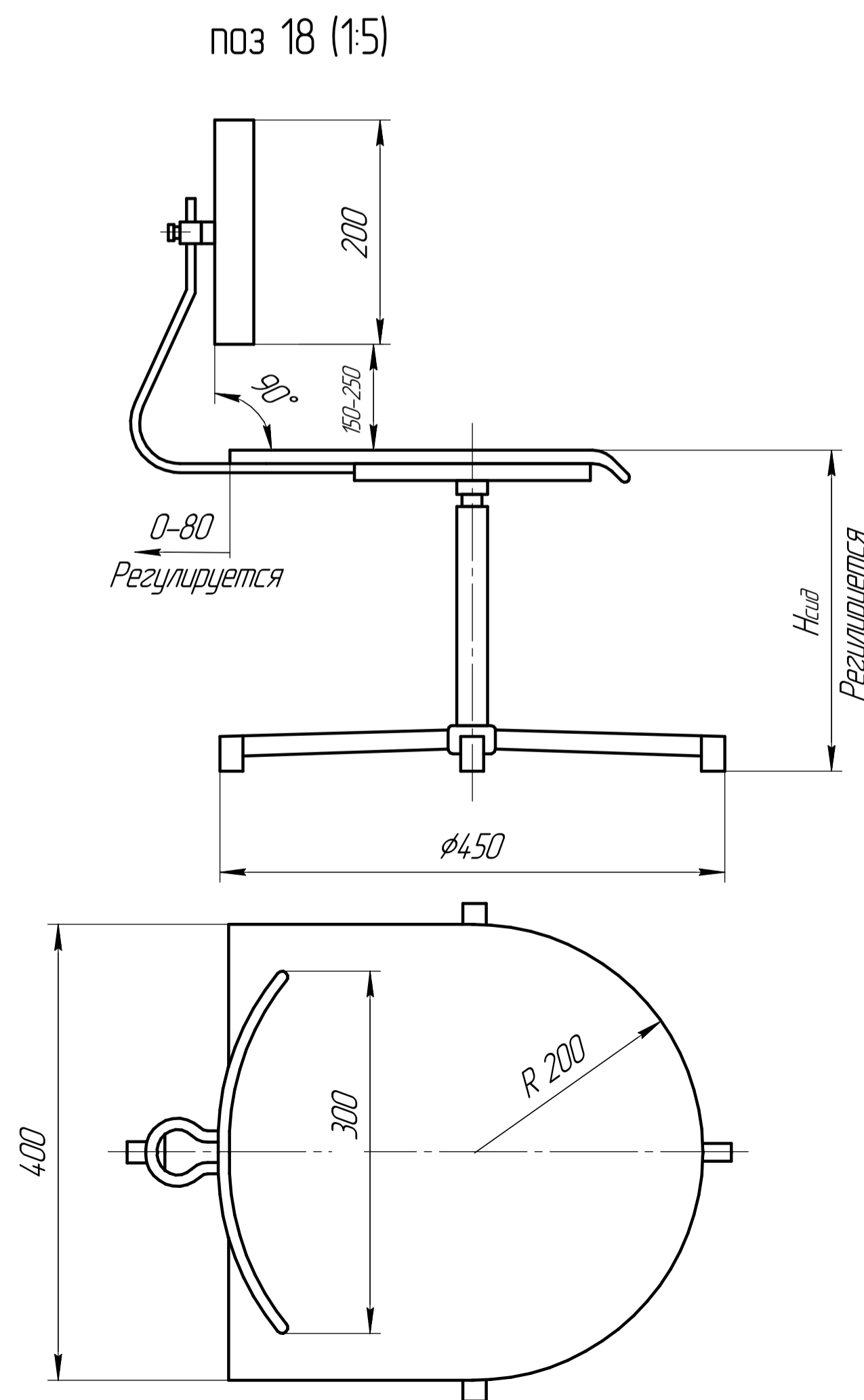
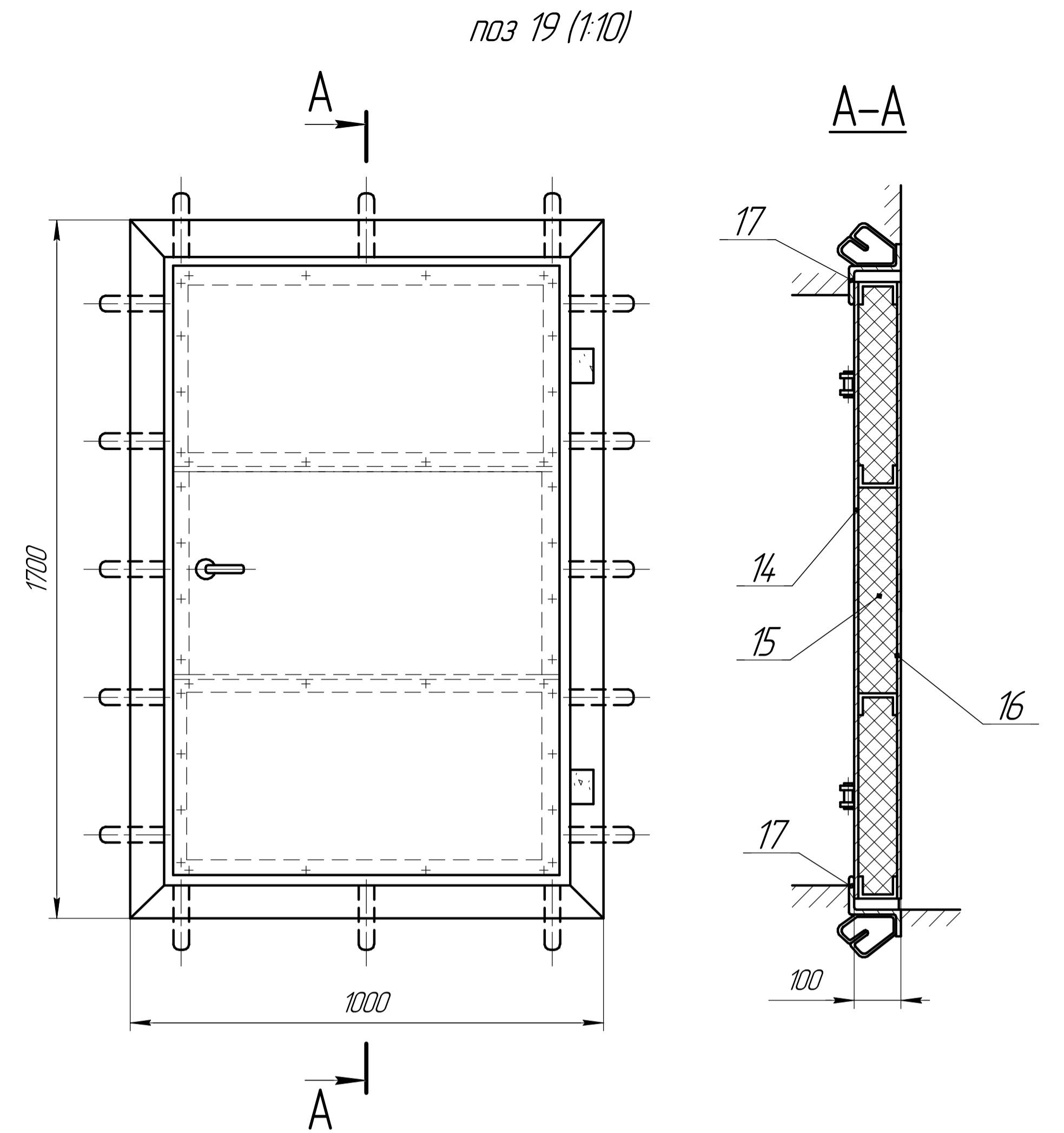
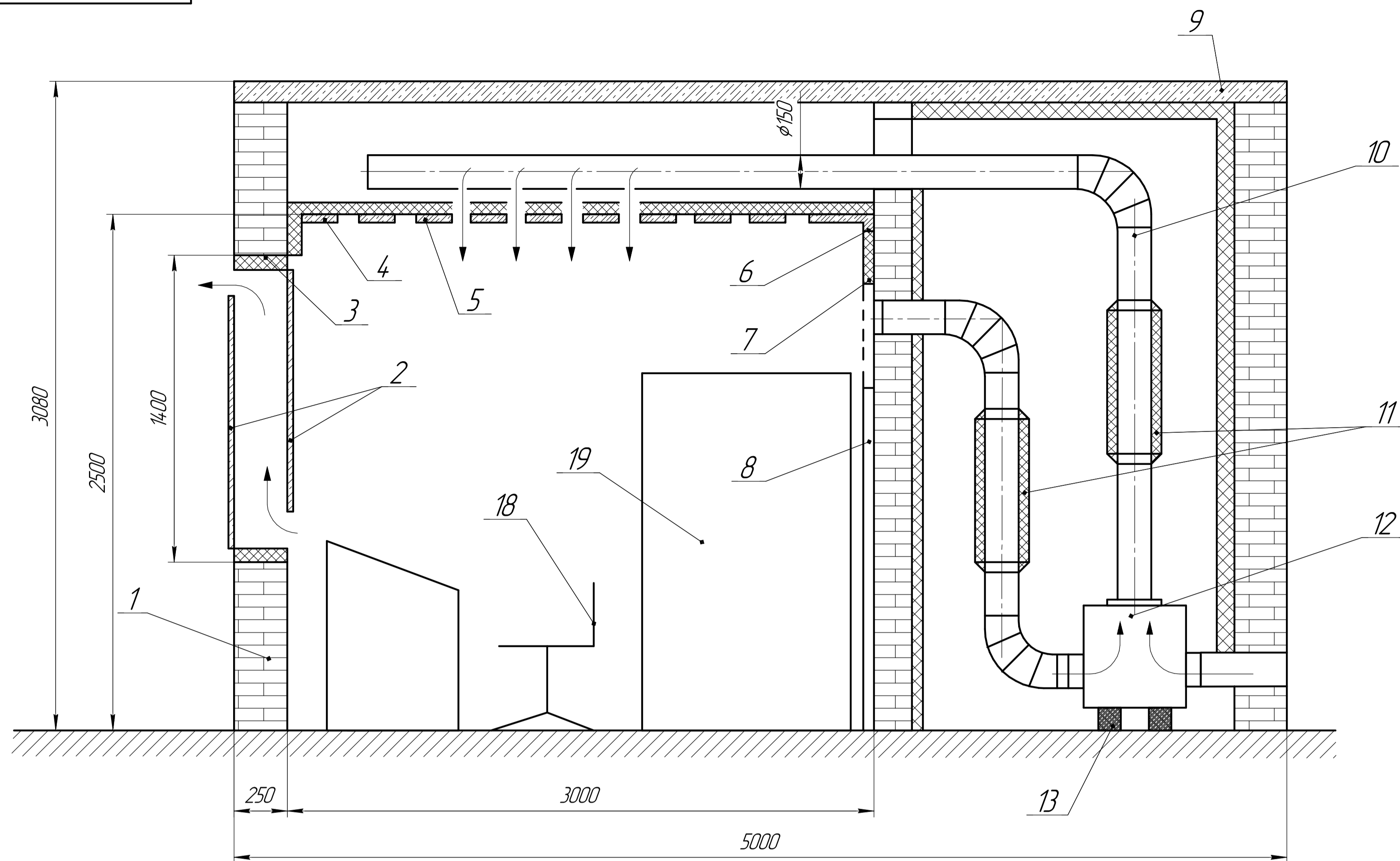
Технічна характеристика:

- 1. Діаметр диску 5500 мм
- 2. Площа 21, 2 м<sup>2</sup>
- 3. Продуктивність 31,8 т/год

Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
1	ІН.Д2.64-19.901	Чаша	1	
2	ІН.Д2.64-19.902	Зубчастий вінець	1	
3	ІН.Д2.64-19.903	Вал	1	
4	ІН.Д2.64-19.904	Кришка	1	
5	ІН.Д2.64-19.905	Станина	1	
6	ІН.Д2.64-19.906	Шарнір	1	
7	ІН.Д2.64-19.907	Гідрадомкрат	1	
8	ІН.Д2.64-19.908	Форсунки	1	
9	ІН.Д2.64-19.909	Зубчаста передача	1	

ІН.Д2.64-19.900 СХ				
Зм.	Лист	№ док.	Підп.	Дата
Розроб.	Тимчук І.С.			
Керівник	Коженьяк Г.Б.			
Консульт.	Коженьяк Г.Б.			
Начальник	Рижков В.Г.			
Затв.	Коженьяк Г.Б.			
Проект системи очистки газів, що утворюється при конвертерному виробництві конструкційних сталей				
			Лист	9
			Маса	120
			Маштаб	1:20
Чашовий огрудувач				
Міністерство освіти і науки України, ІНН ЗНУ, каф. ПГОП, гр. 8/1839				



Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Прим.
1	ІНН.Д2.64-19.001	Цегляна стіна	1	
2	ІНН.Д2.64-19.002	Повітряний вітраж	2	
3	ІНН.Д2.64-19.003	Порошок по контуру	1	
4	ІНН.Д2.64-19.004	Стеля, яка звукопоглинає	1	
5	ІНН.Д2.64-19.005	Прилибна вентиляційна решітка	7	
6	ІНН.Д2.64-19.006	Перегородка	1	
7	ІНН.Д2.64-19.007	Плита	2	
8	ІНН.Д2.64-19.008	Стіна з рециркуляційною решіткою	1	
9	ІНН.Д2.64-19.009	Кришка	1	
10	ІНН.Д2.64-19.010	Повітрявід прилибної вентиляції	1	
11	ІНН.Д2.64-19.011	Глушник шуму	2	
12	ІНН.Д2.64-19.012	Кондиціонер	1	
13	ІНН.Д2.64-19.013	Відроізлятор	4	
14	ІНН.Д2.64-19.014	Лист дюралюмінію 2 мм	1	
15	ІНН.Д2.64-19.015	Мінеральні плити	3	
16	ІНН.Д2.64-19.016	Лист дюралюмінію 3 мм	1	
17	ІНН.Д2.64-19.017	Прокладки из легкой резины	8	
18	ІНН.Д2.64-19.018	Сидіння відрозахищене	1	
19	ІНН.Д2.64-19.019	Двері	1	

ІНН.Д2.64-19.010 ЗВ			
Зам. Лист	№ док. зм.	Підп.	Дата
Розроб.	Тимчук І.С.		
Керівник	Коженьяк Г.Б.		
Консульт.	Коженьяк Г.Б.		
Начальник	Рижков В.Г.		
Зам.	Коженьяк Г.Б.		

Проект системи очистки газів, що утворюються при конвертерному виробництві конструкційних сталей

Лист 10 з 11

Міністерство освіти і науки України, ІНН ЗНУ, кафедра ПЕОП, гр. 8/1939

## ОСНОВНІ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ЗАПРОЕКТОВАНОЇ УСТАНОВКИ ОЧИЩЕННЯ КОНВЕРТЕРНИХ ГАЗІВ

№	ПОКАЗНИКИ	ОДИНИЦІ ВИМІРУ	ВАРІАНТ	
			БАЗОВИЙ	ПРОЕКТНИЙ
1.	РІЧНА ПРОДУКТИВНІСТЬ ГАЗООЧИСНОЇ УСТАНОВКИ	МЛН. М <sup>3</sup> /РІК	553,8	553,8
2.	ТЕХНІЧНА НОРМА ПРОДУКТИВНОСТІ	М <sup>3</sup> /ГОД	65000	<b>65000</b>
3.	ПОЧАТКОВА ЗАПИЛЕНІСТЬ	Г/М <sup>3</sup>	160	<b>160</b>
4.	КІНЦЕВА ЗАПИЛЕНІСТЬ	Г/М <sup>3</sup>	0,010	<b>0,010</b>
5.	КІЛЬКІСТЬ ВЛОВЛЕНОГО ПИЛУ	Т	88602,462	88602,462
6.	КІЛЬКІСТЬ УТИЛІЗОВАНОЇ ПИЛУ	Т	62021,72	67207,51
7.	КАПІТАЛЬНІ ВКЛАДЕННЯ	ТИС.ГРН	<b>20757,25</b>	<b>33643,924</b>
8.	ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЯ	ГРН	39676362	35708725,8
9.	ВОДОПОСТАЧАННЯ	ГРН	14895959.04	7447979.52
10.	ЗАРПЛАТА ОСНОВНИЙ РОБОЧИХ			
	- ОСНОВНА	ГРН	406060	406060
	- ДОДАТКОВА	ГРН	303940	303940
11.	ЕКОНОМІЯ ВІД УТИЛІЗАЦІЇ	ГРН	5830041,68	6317505,94
12.	ЗАГАЛЬНІ ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВИТРАТИ З УРАХУВАННЯМ УТИЛІЗАЦІЇ ПИЛУ	ГРН	<b>41148913,78</b>	<b>37822665,62</b>
12.	ТЕРМІН ОКУПНОСТІ КАПІТАЛЬНИХ ВКЛАДЕНЬ	РІК	-	<b>3,87</b>
13.	КОЕФІЦІЄНТ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ КАПІТАЛЬНИХ ВКЛАДЕНЬ	ГРН/(ГРН·РІК)	-	<b>0,26</b>

				ІНН.Д.2.64-19.011 ТБ				
Зм.	Лист	№ док.	Підп.	Дата	Проект системи очищення газів, що утворюється при конвертерному виробництві конструкційних сталей	Лист	Маса	Маштаб
Розроб.	Личук ІС					Н		
Керівник	Кожем'які Г.Б.					Лист 11	Листів 11	
Консил.	Кожем'які Г.Б.					Міністерство освіти і науки України, ІНН ЗНУ, каф. ПЕОП, зв. 8.1939		
Н.контр.	Рижко В.Г.				Техніко-економічні показники			
Затв.	Кожем'які Г.Б.							

Лист № 11  
 Листів 11  
 Маса  
 Маштаб  
 ІНН.Д.2.64-19.011 ТБ