

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра екології, хімії та технологій захисту довкілля

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

## МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

### «НАУКОВЕ ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПРИВАТНОГО АКЦІОНЕРНОГО ТОВАРИСТВА «КРИЖОПІЛЬСЬКИЙ ЦУКРОВИЙ ЗАВОД»»

Виконав: студент 2 курсу, групи ТЗД-24м  
спеціальності 183 – «Технології захисту  
навколишнього середовища»

(цифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)



Кузнець І. О.

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент кафедри ЕХТЗД

«  » Васильківський І.В.

(прізвище та ініціали)

Опонент: керівник секції хімії,

к.т.н., доцент кафедри ЕХТЗД

«  » Гордієнко О.А.

(прізвище та ініціали)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ЕХТЗД

к.т.н., професор Іщенко В.А. 

(прізвище та ініціали)

« 09 »

12

2025 р.

Вінниця ВНТУ – 2025 рік

Вінницький національний технічний університет  
Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії  
Кафедра екології, хімії та технологій захисту довкілля  
Рівень вищої освіти – другий (магістерський)  
Галузь знань 18 – Виробництво і технології  
Спеціальність 183 – «Технології захисту навколишнього середовища»  
Освітньо-професійна програма – Технології захисту навколишнього середовища

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри ЕХТЗД  
к.т.н., професор  
В.А. Іщенко  
(підпис)  
«24» 09 2025 р.

**ЗАВДАННЯ**  
на магістерську кваліфікаційну роботу студенту  
Кузнець Івану Олеговичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

**1. Тема роботи: «НАУКОВЕ ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПРИВАТНОГО АКЦІОНЕРНОГО ТОВАРИСТВА «КРИЖОПІЛЬСЬКИЙ ЦУКРОВИЙ ЗАВОД»»**

керівник роботи Васильківський Ігор Володимирович, к.т.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по ВНТУ від «10» 09 2025 року № 2  
**2. Термін подання студентом роботи** «09» 12 2025 року

**3. Вихідні дані до роботи:**

1. Карта-схема ПАТ «Крижопільський цукровий завод» (додаток Б).

**4. Зміст текстової частини**

1. Характеристика цукрової галузі України.
2. Технологічна схема виробництва цукру.
3. Екологічна безпека переробки відходів цукрового виробництва.
4. Аналіз екологічної безпеки діяльності ПАТ «Крижопільський цукровий завод».
5. Моделювання розсіювання забруднюючих речовин в атмосфері.
6. Заходи підвищення екологічної безпеки цукрового виробництва.
7. Економічна ефективність ресурсозберігаючих заходів.

**5. Перелік ілюстративного матеріалу:**

1. Технологічна схема виготовлення цукру ПАТ «Крижопільський цукровий завод».

2. Стационарні джерела викидів шкідливих речовин ПАТ «Крижопільський цукровий завод».
3. Відходи цукрового виробництва.
4. Карта розсіювання оксиду карбону (II)
5. Звіт по інвентаризації викидів забруднюючих речовин ПАТ «Крижопільський цукровий завод».

#### 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
7	Декан факультету менеджменту та інформаційної безпеки, к.е.н., доцент кафедри підприємництва, логістики та менеджменту Краєвська Алла Станіславівна		

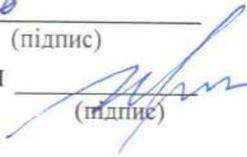
7. Дата видачі завдання « 24 » 09 2025 р.

#### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва та зміст етапу	Термін виконання		Примітка
		початок	закінчення	
1	Дослідження технологічної схеми виробництва цукру.	24.09.2025	1.10.2025	
2	Аналіз екологічної безпеки діяльності ПАТ «Крижопільський цукровий завод» та моделювання розсіювання забруднюючих речовин в атмосфері.	2.10.2025	29.10.2025	
3	Аналіз екологічної безпеки переробки відходів цукрового виробництва.	30.10.2025	10.11.2025	
4	Розробка природоохоронних заходів для підвищення екологічної безпеки виробництва цукру.	11.11.2025	15.11.2025	
5	Економічна ефективність ресурсозберігаючих заходів.	16.11.2025	30.11.2025	
6	Підготовка висновків, додатків, списку використаних джерел. Оформлення пояснювальної записки та ілюстративної частини.	1.12.2025	5.12.2025	
7	Підготовка презентації та доповіді до захисту МКР	6.12.2025	10.12.2025	

Студент   
(підпис)

Кузнець І. О.  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи   
(підпис)

Васильківський І. В.  
(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

УДК 664.1

**Кузнець І. О.** Наукове обґрунтування екологічної безпеки приватного акціонерного товариства «Крижопільський цукровий завод». Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 183 – Технології захисту навколишнього середовища, освітня програма – Технології захисту навколишнього середовища. Вінниця: ВНТУ, 2025. 85 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 21 назв; рис. 8; табл. 13.

В магістерській кваліфікаційній роботі проведено наукове обґрунтування екологічної безпеки приватного акціонерного товариства «Крижопільський цукровий завод».

Проаналізовано сучасний стан цукрової промисловості України, її вплив на довкілля. Проаналізована типова технологічна схема виробництва цукру, визначені основні джерела утворення твердих відходів, газових викидів та рідких стоків. Розглянуто способи переробки відходів. Проаналізована технічна документація ПАТ «Крижопільський цукровий завод». Дана характеристика джерел утворення та викидів забруднюючих речовин підприємством. Розраховано викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних джерел.

Запропоновані природоохоронні заходи спрямовані на підвищення екологічної безпеки ПАТ «Крижопільський цукровий завод» та розраховано економічну ефективність їх впровадження.

Ілюстративна частина складається із 5 ілюстрацій.

**Ключові слова:** цукрова промисловість, виробництво цукру, відходи цукрового виробництва, газові викиди підприємств цукрової промисловості, забруднення атмосферного повітря, ресурсозбереження, енергозбереження.

## ABSTRACT

UDC 664.1

**Kuznets I. O.** Scientific justification of the ecological safety of the private joint-stock company "Kryzhopil Sugar Plant". Master's qualification work in the specialty 183 - Environmental protection technologies, educational program - Environmental protection technologies. Vinnytsia: VNTU, 2025. 85 p.

In Ukrainian. Bibliography: 21 titles; fig. 8; tab. 13.

In the master's qualification work, a scientific justification of the environmental safety of the private joint-stock company "Kryzhopil Sugar Plant" was conducted.

The current state of the sugar industry of Ukraine and its impact on the environment were analyzed. A typical technological scheme of sugar production was analyzed, the main sources of solid waste, gas emissions and liquid effluents were identified. Waste processing methods were considered. The technical documentation of PJSC "Kryzhopil Sugar Plant" was analyzed. The characteristics of the sources of formation and emissions of pollutants by the enterprise were given. Emissions of pollutants into the atmospheric air from stationary sources were calculated.

Environmental protection measures aimed at increasing the environmental safety of PJSC "Kryzhopil Sugar Plant" were proposed and the economic efficiency of their implementation was calculated.

The graphic part consists of 5 illustrations.

**Keywords:** sugar industry, sugar production, sugar production waste, gas emissions from sugar industry enterprises, air pollution, resource conservation, energy conservation.

## ВІДГУК

наукового керівника на магістерську кваліфікаційну роботу студента денної форми навчання групи ТЗД-24м Кузнець Івана Олеговича на тему «Наукове обґрунтування екологічної безпеки приватного акціонерного товариства «Крижопільський цукровий завод»»

Магістерська кваліфікаційна робота Кузнець І.О. включає детальний огляд літературних джерел та аналіз екологічного впливу цукрових підприємств України на стан навколишнього середовища, зокрема розглянуто вплив на навколишнє середовище приватного акціонерного товариства «Крижопільський цукровий завод».

Проаналізована типова технологічна схема виробництва цукру, визначені основні джерела утворення твердих відходів, газових викидів та рідких стоків. Розглянуто способи переробки відходів. Дана характеристика джерел утворення та викидів забруднюючих речовин підприємством. Розраховано викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних джерел. Проведено моделювання розсіювання забруднюючих речовин в атмосфері.

В процесі виконання магістерської кваліфікаційної роботи дипломник Кузнець І.О. провів ретельний аналіз технології виробництва цукру на ПАТ «Крижопільський цукровий завод», самостійно визначив основні джерела забруднення їх параметри та характеристику впливу на довкілля.

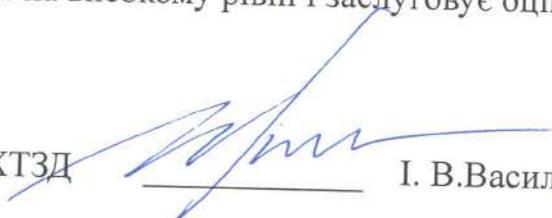
Дипломником Кузнець І.О. було запропоновано ряд ефективних природоохоронних заходів щодо зменшення негативного впливу ПАТ «Крижопільський цукровий завод» на довкілля та здоров'я населення.

Дипломник Кузнець І.О. характеризується виключно з позитивного боку, коректний, старанний, працелюбний, відповідальний і наполегливий в досягненні мети, користується повагою серед студентів та викладачів.

Робота у цілому виконана на високому рівні і заслуговує оцінку «А».

Керівник роботи,

к.т.н., доцент кафедри ЕХТЗД



І. В.Васильківський

**ВІДГУК ОПОНЕНТА**  
**на магістерську кваліфікаційну роботу студента денної форми навчання**  
**2 курсу із спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього**  
**середовища» Кузнець Івана Олеговича на тему: «Наукове обґрунтування**  
**екологічної безпеки приватного акціонерного товариства**  
**«Крижопільський цукровий завод»»**

Магістерська кваліфікаційна робота виконана згідно до завдання, відповідає темі, містить 5 листів ілюстративного матеріалу і пояснювальну записку з 85 сторінок.

1. Актуальність теми, наявність замовлення роботи підприємством, організацією

Цукрова промисловість чинить негативний вплив на навколишнє середовище – забруднює атмосферу, воду та ґрунти, оскільки при виробництві цукру утворюються тверді, газоподібні відходи та рідкі стоки. Оцінка впливу цукрової промисловості на стан навколишнього середовища та розробка заходів, спрямованих на підвищення екологічної безпеки при виробництві цукру є актуальним екологічним завданням.

2. Достатність вихідних даних на магістерську кваліфікаційну роботу, наявність обґрунтування вироблених рекомендацій

Вихідних даних для виконання роботи цілком достатньо. Практичні рекомендації та висновки є обґрунтованими.

3. Наявність багатоваріантного аналізу проектних рішень в основному розділі, спрямованого на пошук оптимального рішення з урахуванням останніх досягнень науки і техніки, техніко-економічного обґрунтування оптимального варіанту. Застосування варіантних підходів при вирішенні решти проектних рішень.

У магістерській кваліфікаційній роботі проведено аналіз літературних джерел у галузі впливу підприємств цукрової промисловості на довкілля та поводження з відходами, які утворюються в результаті виробництва цукру. Обґрунтовано вибір програмного середовища для розрахунку розсіювання забруднюючих речовин в приземному шарі атмосферного повітря.

4. Глибина обґрунтування прийнятих рішень, ступінь врахування факторів безпеки життєдіяльності тощо

Всі прийняті рішення характеризуються достатньою глибиною техніко-економічного та еколого-економічного обґрунтування.

5. Рівень пророблення основного рішення (аналіз, технічні розрахунки тощо), достатність глибини пророблення основного рішення для використання на практиці

У магістерській кваліфікаційній роботі проаналізовано діяльність ПАТ «Крижопільський цукровий завод», визначено кількісний і якісний склад

забруднюючих речовин, що надходять в атмосферу та проведено моделювання розсіювання забруднюючих речовин в приземному шарі атмосферного повітря.

6. Науковий рівень (для робіт дослідницького характеру) та глибини експериментальних досліджень

Магістерська кваліфікаційна робота має практичне використання та достатній пізнавальний і навчальний рівень.

7. Застосування ПК для вирішення задач основної частини роботи (оптимізація, моделювання, САПР, СУБД, ГІС, технічні розрахунки складних систем та ін.), обґрунтування вибору конфігурації ПК, застосування стандартних та оригінальних програм, наявність аналізу результатів та їх використання в роботі

У роботі застосовується MS Word, що є зручним для виконання поставлених завдань роботи.

8. Наявність у пояснювальній записці обґрунтування усіх проектних рішень, стиль її написання (обґрунтовальний чи описовий), відповідність оформлення до вимог діючих стандартів

Пояснювальна записка оформлена відповідно до діючих стандартів рішення та рекомендації подані обґрунтовано.

9. Повнота відображення графічних матеріалів основного змісту дипломної роботи, відповідність графічних матеріалів конкретному об'єкту дослідження вимогам діючих стандартів

Графічний матеріал, представлений у даній роботі, відображає основний зміст роботи, оформлений згідно діючих стандартів і відповідає об'єкту дослідження.

10. Практична цінність роботи, можливість її реалізації  
Впровадження запропонованих заходів дозволить підвищити екологічну безпеку виробництва цукру на ПАТ «Крижопільський цукровий завод».

11. У магістерській кваліфікаційній роботі можна відзначити такі недоліки  
Для наукового обґрунтування підвищення екологічної безпеки ПАТ «Крижопільський цукровий завод», потрібно навести схеми обладнання для очистки промислових стічних вод підприємства.

Магістерська кваліфікаційна робота у цілому виконана на високому рівні і заслуговує на оцінку « А ».

Опонент

керівник секції хімії,

к.т.н., доцент кафедри ЕХТЗД

  
(підпис)

О. А. Гордієнко

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ХАРАКТЕРИСТИКА ЦУКРОВОЇ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ.....	7
2 ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ВИРОБНИЦТВА ЦУКРУ.....	11
2.1 Приймання цукрового буряка.....	11
2.2 Зберігання буряка.....	12
2.3 Подача буряку на завод.....	13
2.4 Мийка буряка.....	14
2.5 Одержання бурякової стружки та дифузійного соку.....	15
2.6 Очищення дифузійного соку.....	16
2.7 Згущення соку випарюванням.....	18
2.8 Варіння, кристалізація і центрифугування утфелів.....	19
2.9 Висушування, охолодження та зберігання цукру.....	20
2.10 Отримання вапнякового молока та сатураційного газу.....	21
3 ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ ЦУКРОВОГО ВИРОБНИЦТВА.....	22
4 АНАЛІЗ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ДІЯЛЬНОСТІ ПАТ «КРИЖОПІЛЬСЬКИЙ ЦУКРОВИЙ ЗАВОД».....	27
4.1 Загальні відомості про підприємство ПАТ «Крижопільський цукровий завод».....	27
4.2 Характеристика джерел утворення та викидів забруднюючих речовин ПАТ «Крижопільський цукровий завод».....	31
4.3 Розрахунок викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря.....	37
5 МОДЕЛЮВАННЯ РОЗСІЮВАННЯ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН В АТМОСФЕРІ.....	47
5.1 Розрахунок приземної концентрації забруднюючих речовин викидів стаціонарних джерел по вісі факелу.....	47
5.2 Побудова карти розсіювання концентрацій забруднюючих речовин.....	55

6 ЗАХОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ЦУКРОВОГО ВИРОБНИЦТВА.....	58
7 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РЕСУРСОЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ЗАХОДІВ.....	61
7.1 Розрахунок необхідної площі сонячних панелей для повного заміщення органічного палива на підприємстві.....	61
7.2 Розрахунок кількості вітроустановок, необхідних для повного заміщення органічного палива на підприємстві.....	63
7.3 Розрахунок чистого доходу від впровадження енергозберігаючих заходів на підприємстві.....	65
ВИСНОВКИ.....	70
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	72
Додаток А. Протокол перевірки кваліфікаційної роботи.....	75
Додаток Б. Карта-схема ПАТ «Крижопільський цукровий завод».....	76
Додаток В. Акт впровадження результатів магістерської кваліфікаційної роботи.....	77
Додаток Д. Ілюстративна частина.....	78

## ВСТУП

**Актуальність.** Цукрова промисловість – одна з найстаріших галузей промисловості України. Сприятливі умови для вирощування цукрових буряків, величезний ринок збуту і прибутковість галузі зробили її однією з основних в економіці. Однак у сучасній галузі виробництво цукру в Україні носить змішаний характер – від 10% до 30% цукру виробляється шляхом переробки тростинного цукру-сирцю, оскільки неможливо забезпечити внутрішнє споживання за рахунок цукру з цукрових буряків.

У цукровій промисловості існує нагальна потреба у підвищенні технічного рівня основного обладнання, зменшенні витрат на виробничі ресурси та зменшенні впливу на навколишнє середовище. Впровадження сучасних технологій вирощування і переробки цукрових буряків, поліпшення використання сировини і паливно-енергетичних ресурсів призводить як до підвищення якості готової продукції, так і до зниження негативного впливу цукрового виробництва на навколишнє середовище.

У процесі виробництва цукру забруднюються вода, повітря і ґрунт. Газові викиди включають оксиди сірчаної кислоти, азоту, вуглецю, аміак і т.д. виробництво цукру супроводжується використанням великої кількості води і утворенням стічних вод, забруднених зваженими і розчинними органічними домішками. До твердих відходів відносяться жом, патока і фекалії. Побічні продукти і відходи виробництва, що утворюються при переробці цукрових буряків, відрізняються цінним хімічним складом і можуть бути використані для виробництва різних продуктів. Комплексне використання сировини і переробка відходів є одним з напрямків екологізації цукрового виробництва.

Екологічна безпека господарської діяльності має велике практичне значення. Це дозволяє нам мінімізувати ризик екологічних загроз, розробляти пропозиції щодо зміни технологічних процесів, реконструкції очисних споруд і мінімізувати негативний вплив діяльності людини на навколишнє середовище.

**Метою роботи** є оцінка впливу приватного акціонерного товариства «Крижопільський цукровий завод» на стан навколишнього природного середовища та розробка заходів, спрямованих на підвищення його екологічної безпеки.

Для досягнення поставленої мети були сформульовані наступні задачі:

1. Дослідження технологічної схеми виробництва цукру.
2. Аналіз екологічної безпеки діяльності ПАТ «Крижопільський цукровий завод» та моделювання розсіювання забруднюючих речовин в атмосфері.
3. Аналіз екологічної безпеки переробки відходів цукрового виробництва.
4. Розробка природоохоронних заходів для підвищення екологічної безпеки виробництва цукру.
5. Розрахунок економічної ефективності ресурсозберігаючих заходів.

**Об'єктом досліджень** – діяльність приватного акціонерного товариства «Крижопільський цукровий завод» розташованого по вулиці вул. Благовіщенська, 103, с. Городівка, Крижопільського району, Вінницької області.

**Предмет дослідження** – характеристики технологічного процесу виробництва цукру–піску на ПАТ «Крижопільський цукровий завод».

#### **Наукова новизна.**

Вперше, досліджено техногенний вплив діяльність приватного акціонерного товариства «Крижопільський цукровий завод» розташованого по вулиці вул. Благовіщенська, 103, с. Городівка, Крижопільського району, Вінницької області на екологічний стан навколишнього природного середовища, та науково обрнтовані природоохоронні і ресурсозберігаючі заходи.

#### **Практичне значення.**

Дана магістерська кваліфікаційна робота є науковим обґрунтуванням реалізації природоохоронних і ресурсозберігаючих заходів на підприємствах цукрової промисловості, зокрема у приватному акціонерному товаристві «Крижопільський цукровий завод» розташованому по вулиці вул. Благовіщенська, 103, с. Городівка, Крижопільського району, Вінницької області.

Аналіз впровадження запропонованих ресурсозберігаючих заходів

дозволить суттєво підвищити рівень ресурсозбереження на підприємстві та зменшити викиди забруднюючих речовин, що позитивно вплине на стан навколишнього природного середовища і здоров'я населення.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дана робота виконувалась відповідно науковому напрямку кафедри ЕХТЗД, зокрема, госптематики, закону України: «Про охорону навколишнього природного середовища» №1268-ХІІ від 26.06.91 і Регіональної екологічної бюджетної програми 2024-2025 років.

**Методи дослідження.** Використано методи комплексного, системного науково-обґрунтованого аналізу, а також методи математичної статистики та кореляційного аналізу.

**Особистий внесок автора.** Автором визначено основні завдання роботи, обрано та опановано методи їх вирішення, підібрано та опрацьовано літературні джерела, здійснено аналіз і теоретичне обґрунтування зібраного матеріалу, його узагальнення та формулювання висновків. Акт впровадження результатів магістерської кваліфікаційної роботи у навчальний процес представлений у додатку В.

**Публікації.** Викладені у МКР положення доповідались на Міжнародній науково-технічній конференції: «Енергоефективність в галузях економіки України (2025)», Міжнародні науково-практичній інтернет-конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2026)» а також у щорічних науково-технічних конференціях ВНТУ.

**Подяки.** Автор вдячний генеральному директору приватного підприємства «Інтер-Еко» **Гончаруку Видиму Станіславовичу** за розуміння і моральну підтримку у проведенні досліджень за темою магістерської кваліфікаційної роботи.

## 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ЦУКРОВОЇ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ

Україна відноситься до традиційно багатих цукром країн світу, що обумовлено досить сприятливими ґрунтово-кліматичними умовами для розвитку бурякового землеробства і виробництва цукру. Буряк є основною сировинною базою для вітчизняних цукрових заводівв Україні.

Вирощування цукрових буряків і виробництво цукру зосереджені в центральній частині України. Вінницька, Полтавська, Черкаська та Київська області є лідерами за обсягами виробництва та площі цукрових буряків. Географічні та кліматичні умови Вінницької області (ґрунт, розподіл опадів) сприятливі для вирощування буряків [1, 2].

На сьогоднішній день більшість бурякових господарств перебувають у приватній власності (75% від загального обсягу виробництва), а на частку деяких державних підприємств припадає близько 1,6% від загального обсягу виробництва.

Буряківництво є однією із стратегічно важливих галузей харчової промисловості України. Він об'єднує сільськогосподарські підприємства, що вирощують цукровий буряк, насінницькі заводи, цукрові фабрики і підприємства сфери послуг. Кінцевим продуктом цього великого агропромислового комплексу є асортимент цукру, а також побічні продукти - патока, жом і вапно [3-6].

Цукор представлений на ринку в основному наступними видами продукції: цукровий пісок, цукор-прес, цукрова пудра, цукор-рафінад.

Цукровий пісок повинен бути розсипчастим, і його можна подрібнювати в цукровий пісок для промислової переробки, який розпадається під легким тиском. Колір цукрового піску повинен бути білим, але в результаті промислової переробки допускається жовтуватий відтінок цукру. Цукор-рафінад чистіше, ніж цукровий пісок. Вміст домішок в ньому становить не більше 0,1%. Основною сировиною для виробництва цукру-рафінаду є цукровий пісок. Цукор-рафінад випускається у вигляді цукру-рафінаду, подрібненого цукру-рафінаду, дрібної упаковки, рафінованої пудри, пресованого швидкорозчинного. Цукор-рафінад

володіє більш вираженою білизою, прозорістю по краях і більш високою (як і у всього цукру-рафінаду) масовою часткою сахарози-неменше 99,9% від сухої речовини.

Основними споживачами цукру в Україні є населення і виробники кондитерських виробів (їх частка становить понад 70%), виробники алкогольної продукції молочних консервів, виноробні підприємства і хлібобулочні вироби, виробники пива, безалкогольних напоїв, а також соусів і майонезів, виробники соків, молочних продуктів, морозива і т.д. згідно з концепцією національної безпеки України, цукор відноситься до категорії стратегічних продуктів, які забезпечують економічну безпеку країни. Оскільки Україна не може забезпечити внутрішнє споживання тільки за рахунок цукру з цукрових буряків, виробництво цукру в Україні носить змішаний характер, тобто близько 10-30% цукру виробляється шляхом переробки цукру-сирцю з тростинного цукру.

З балансу цукру, наведеного в таблиці 1.1, видно, що вітчизняне виробництво бурякового цукру сьогодні може задовольнити внутрішній попит, що автоматично класифікує Україну як імпортера цукру.

Таблиця 1.1 – Цукровий баланс України, 2018 – 2022 рр., млн. т.

Роки	2018/19	2019/20	2020/21	2021/22
Валове внутрішнє виробництво	2,15	2,12	2,25	2,12
Виробництво цукру з цукрових буряків	1,41	1,44	1,77	1,91
Імпорт тростинного цукру	1,34	0,59	0,50	0,45
Виробництво цукру з цукрової тростини	0,74	0,68	0,48	0,21
Загальне внутрішнє споживання	2,05	2,11	2,14	2,19
Внутрішнє промислове споживання	0,57	0,63	0,67	0,73
Внутрішнє споживання населенням	1,48	1,48	1,47	1,47

Решта заводів зазвичай працюють менше 90 днів на рік, що призводить до величезних поточних виробничих витрат. Середній цукровий завод в Україні переробляє близько 2800 тонн цукрових буряків на день, що приблизно втричі менше, ніж у Європі [3, 4-8]. Показники, що характеризують стан цукрової галузі у Вінницькій області, наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Деякі індикатори продуктивності цукрової промисловості на Вінниччині

Показники	Роки	
	2020	2022
Вирощено цукрових буряків, млн. т	2,5	2,7
Перероблено цукрових буряків, млн. т	2,4	2,5
Виробництво цукру, млн. т	0,3	0,34
Середньодобова потужність заводу, 1000 т	1,9	1,9
Середня тривалість кампанії заводу, днів	64,3	64,3
Кількість працюючих заводів	23	21
Кількість закритих заводів	17	19

Як видно з таблиці 1.2, в останні роки вирощування цукрових буряків і виробництво цукру дещо збільшилися, але кількість закритих заводів у Вінницькій області збільшилася. Це є результатом низької конкурентної спроможності деяких сучасних підприємств: великі втрати сировини та паливно-енергетичних ресурсів через використання застарілих методів консервації сировини, застарілого обладнання та технології переробки буряків. Економічні показники цукрового заводу залежать головним чином від якості і кількості сировини. Сьогодні забезпечити цукрові заводи високоякісною сировиною проблематично. З одного боку, склалася ситуація, коли сільськогосподарським підприємствам стало не вигідно виробляти сировину для переробної промисловості через складність вирощування сільськогосподарських культур і відсутність необхідних механізмів і робочої сили, а також незавершеність механізмів розрахунків, відсутність державного регулювання захисту вітчизняного ринку цукру.

Зниження технічних якостей цукрових буряків негативно позначається на процесі зберігання, збільшує втрати і знижує ефективність використання виробничих фондів.

В цілому, виробництво цукру і тютюну в нашій країні з експортно-стратегічної галузі економіки перетворилося на дотаційну. Це дійсно загрожує неповним забезпеченням власних потреб навіть цим важливим продуктом. Основними причинами незадовільного стану буряко-цукрової галузі є серйозні перешкоди в роботі підприємств цукрової промисловості, деформація сировинних зон, багаторазова зміна власників, загальний знос матеріально-технічної бази галузі, виснаження природного і біологічного потенціалу основних зон зростання буряків, різке скорочення застосування добрив, нерозвиненість ринкової інфраструктури [8-12].

## **2 ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ВИРОБНИЦТВА ЦУКРУ**

Виробництво цукру-піску на цукрових заводах здійснюється за стандартними технічними схемами або схемами, близькими до них. Типове технічне обладнання використовується для виконання окремих операцій в технічних схемах.

Технічна схема виробництва цукрового піску включає очищення буряків від домішок, виробництво бурякової стружки, виробництво дифузійного соку, очищення дифузійного соку (дефекація, сатурація, сульфидування, фільтрація), (рисунок 2.1) [5, 6, 7].

З 100 кг цукру, що міститься в буряках, виходить 80-82 кг чистого цукру, а в патоці залишається 10-14 кг, а при виробництві втрачається 5-6 кг.

### **2.1 Споживання буряка**

При відборі цукрових буряків лабораторія проводить аналіз сировини. Технічна якість буряка характеризується декількома показниками, основними з яких є вміст цукру і чистота бурякового соку, які взаємопов'язані. Зі збільшенням вмісту цукру підвищується і його чистота.

Велика кількість буряків перевіряється, розділяється на категорії і зважується перед транспортуванням. Визначається загальна ступінь забруднення, а потім вміст цукру.

### **2.2 Зберігання буряка**

Буряк зберігають після технічної оцінки. Коренеплід поміщають в заздалегідь підготовлений контейнер для зберігання на полі кахат. При неправильному зберіганні коренеплоди можуть прорости і загнити.



Рисунок 2.1 – Технологічна схема цукрового виробництва

Процес пророщування починається через 5-7 днів після збору врожаю при високій температурі і вологості. Коренеплоди кагата проростають нерівномірно: на верхівці їх в 2 рази більше, ніж м'яких. Пророщування призводить до втрати сахарози. Коренеплоди більш інтенсивно проростають в непровітрюваних контейнерах. Для боротьби з проростанням під час збирання врожаю у коренеплоду видаляють верхню частину качана і обробляють його 1%-ним розчином натрієвої солі гідразиду малеату (1 літр на 3-4 тонни буряка).

Мікроорганізми в основному розвиваються в мертвих клітинах, механічно пошкоджених, при обмороженні, на зів'ялих ділянках коренеплодів, вражаючи ще живі, але ослаблені клітини. Тому цілісність буряка є важливою умовою захисту сировини від псування. Необхідно створити сприятливі умови для протікання захисних реакцій у відповідь на механічні та інші пошкодження. Для придушення життєдіяльності мікрофлори на коренеплодах використовуються відповідні препарати.

На схожість і інтенсивність розвитку мікроорганізмів впливають температура і вологість. Підтримка температури на рівні 1-2°C, газового складу повітря в міжкореновому просторі, вологості при примусовому провітрюванні кагатів, видаленні вогнищ гнилі сприяє збереженню коренеплоді в буряка від гниття і проростання. Склади з твердим покриттям, оснащені гідравлічними системами подачі і вентиляції, дозволяють значно скоротити втрати бурякового жому і цукру.

Механізовані методи вирощування та збирання цукрових буряків призвели до значного збільшення її забруднення. Надходить буряк забруднюється ґрунтом, трав'янистими домішками і бадиллям, що призводить до стиснення посадкового простору і одночасно погіршує аерацію. Крім того, трав'янисті домішки і бадилля сприйнятливі до мікроорганізмів, тим самим сприяючи масової псування сировини.

Одним з фундаментальних засобів зниження забруднення є гідравлічний метод очищення коренеплодів з подальшим зберіганням у вимитому вигляді.

### **2.3 Поставка буряка на завод**

Буряк, що надходить на завод, називається бурякової і збирається в залізобетонному контейнері і поруч з головною будівлею заводу. Для отримання високоякісної тріски необхідно більш ретельно відокремлювати від буряка легкі і важкі домішки. Для цього на шляху подачі буряка на завод встановлені уловлювачі соломи, каменів і піску.

Основний гідравлічний транспортер розділений на 2 секції: нижню і верхню. На початку нижньої частини, заглибленої в землю, встановлюється пісковловлювач. Потім бурякова суміш з водою проходить через уловлювач соломи і бадилля, а потім через уловлювач каменів, де звільняється від легких і важких домішок і подається відцентровим насосом в пази у верхній частині гідравлічного транспортера.

На верхньому гідравлічному транспортері суміш буряка і води повторно очищається за допомогою уловлювача від соломи, бадилля і каменів.

Вода, яка використовується для транспортування буряка, забруднена механічними домішками. Перед повторним використанням її очищають.

## **2.4 Мийка буряка**

При ручному прибиранні частка забруднень становить 1-3% від маси коренеплодів, а при нинішньому механізованому прибиранні за допомогою зернозбирального комбайна - 10-12%.

Буряк очищають під час різання, щоб запобігти затуплення ножа і потрапляння дифузійного соку.

Коренеплоди частково очищаються від забруднень на гідравлічному транспортері. Бурякомийні машини використовуються для остаточного очищення буряка. Грунт і глину найкраще відмивати, протираючи коренеплоди. Тому на початковому етапі мийки буряк повинна бути в щільному стані. Спочатку промийте буряк за допомогою барабанної мийки і видаліть бруд з неї суспензією відповідної щільності. Ступінь очищення таких бурякомиючих машин досягає 70%, а витрата прісної води становить до 30% від маси буряка. Перевага барабанної мийки буряка полягає в тому, що вона найбільше ефективно очищає сильно забруднену буряк з низьким відсотком пошкоджень.

Після барабанної мийки буряк потрапляє в ополіскувач. Легкі забруднення, що з'явилися під час мийки, видаляються сітчастим конвеєром.

Після барабанної мийки і ополіскувача рідина надходить в жолобну мийку. Буряк складається з 2 відсіків з низьким рівнем води і 2 відсіків з високим рівнем.

У першому відділенні для очищення буряка проводиться інтенсивне механічне видалення поверхневих забруднень. У другому відділенні при наявності надлишку води завершується очищення буряка і відділення домішок.

Чистий буряк видаляється шнековим транспортером, у верхній частині якого встановлений патрубок для подачі чистої хлорованої води для промивання коренеплодів.

Втрати цукру у воді для очищення транспортера залежать від якості буряка і пори року. Для того щоб втрати цукру були в межах допустимого діапазону, температура води при митті буряка повинна бути не більше 15-18°C, а при митті замороженої буряка втрати цукру збільшаться, якщо в пристрої для заморожування буряка відбудеться підвищення температури води.

Вода, що надходить в буряк, повинна містити мінімальну кількість мікроорганізмів. Після очищення буряка вода з бурякової суміші відділяється на дисковому водо відділювачі. При митті буряка утворюються стічні води, які забруднюються механічними домішками.

Очищений буряк подається елеватором в бункер, розташований перед бурякорізанням.

## **2.5 Одержання бурякової стружки та дифузійного соку**

Бурякові чіпси отримують за допомогою подрібнювача за допомогою дифузійного ножа, прикріпленого до спеціальної рами. Продуктивність дифузійної установки і вміст цукру в несолодких чіпсах залежать від якості чіпсів. Товщина чіпсів повинна становити від 0,5 до 1мм. Дуже тонка стружка деформується і збивається в грудочки, що погіршує циркуляцію соку в розподільній машині.

Продуктивність подрібнювача можна регулювати, змінюючи швидкість обертання ротора або кількість робочих ножів. Потім стружка по стрічковому конвеєру направляється в дифузійний пристрій.

Дифузійний пристрій – це пристрій для вилучення розчинних речовин з подрібнених твердих матеріалів шляхом екстракції. При виробництві цукру в дифузійному пристрої цукор з стружки потрапляє в гарячу воду ( $\geq 65^{\circ}\text{C}$ ). У пристрої безперервної дифузії буряк і дифузійний сік рухаються протитечією. Для отримання високоякісного дифузійного соку в пристрої повинна підтримуватися постійна температура, а тривалість дифузії повинна бути оптимальною.

На етапі отримання дифузійного соку утворюються відходи: пресована вода і м'якоть. Знебарвлена стружка-м'якоть, що виходить з дифузійного пристрою, пресується до вмісту сухої речовини 22%, що дозволяє віджатою воді повертатися в дифузію. Після дифузійної установки целюлоза направляється на 2-ступінчастий прес. Після 1-гоступеня Преса целюлоза направляється або на 2-й щабель преса, або на продаж. Після другого ступеня пресування м'якоть відправляється в Сушильне відділення барабанної сушарки.

Перед подачею в дифузійне пристрій стисла вода проходить очищення: фільтрацію і термічну стерилізацію. Очищена стиснута вода охолоджується до  $70-75^{\circ}\text{C}$  і надходить у збірник стиснутої води.

Дифузійний сік, звільняючись від мезги на ротаційному пульпоуловлювачі, поступає на вапняково-вуглекислотне очищення.

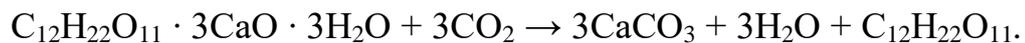
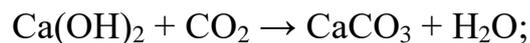
## **2.6 Очищення дифузійного соку**

Згущений сік, отриманий шляхом водної екстракції цукру з бурякової стружки, має темний колір. Він містить сахарозу і нецукрові речовини: розчинні білки, пектинові речовини і продукти їх розпаду. Всі вони перешкоджають утворенню кристалічної сахарози і збільшують втрати сахарози через мелясу. Таким чином, однією з найважливіших завдань технології виробництва цукру є

максимальне видалення не цукру з цукрових розчинів. Для цього дифузний сік піддають очищенню дефекацією, сатурації, сульфатації.

Дефекація здійснюється в дефекаторі – пристрої для очищення бурякового соку шляхом кальцифікації. Отриманий дифузійний сік поміщають в пристрій для нагрівання до температури 85-90°C, а потім подають в котел попередньої дефекації. У казані до соку додають невелику кількість вапна (0,2-0,3% від маси буряка). Під дією вапна відбувається згортання білків і фарбувальних речовин, а також випадання в осад малорозчинних кальцієвих солей щавлевої, фосфорної та інших кислот.

Основний спосіб дефекації полягає в додаванні приблизно 2-3% вапна від ваги буряка для отримання надлишку реагентів. Під час дефекації сахароза частково зв'язується з вапном у вигляді кальцію сахарози. Щоб видалити надлишки вапна і розщепити кальцієвий цукор, сік буде насиченим. Сік самопливом надходить з дефекатора в сатуратор. У сатураторі сік обробляється вуглекислим газом (і насичується). Надлишок вапна, яка не вступає в реакцію з компонентами виділилися соку, і вапно, що утворюється при розкладанні цукрів, перетворюється в дрібнокристалічний осад  $\text{CaCO}_3$ :



Деякі нецукрові речовини, особливо фарбувальні, адсорбуються на поверхні осаду. Сік і сатурація фільтруються. Після чергового зневоднення осад утилізується як відходи. Фільтрат нагрівають до температури 92-95°C піддають додаткової дефекації (0,25%CaO) і сатурації (II сатурація). Отриманий осад ( $\text{CaCO}_3$ ) фільтрують.

Отриманий фільтрат обробляють діоксидом сірки  $\text{SO}_2$  (сульфідом), який отримують шляхом спалювання сірки в печі. Метою сульфидування є перетворення забарвленого речовини в безбарвне з'єднання і знебарвлення соку

за рахунок зниження лужності і в'язкості сиропу. Основна дія сульфїду полягає в запобіганні утворення фарбувальних речовин.

Після сульфатації сік фільтрується і згущується шляхом випаровування. Очищений сік має світло-коричневий колір.

Осад, що утворюється при очищенні соку (дефекації), містить  $\text{CaCO}_3$  і випадає в осад нецукровий матеріал.

## 2.7 Згущення соку випарюванням

Для згущення соку використовуються багатокорпусні випарні установки. Сік другої насиченості слід згущувати в сироп з вмістом сухих речовин від 14-16% до 65-70%. Сік надходить в I корпус, після чого проходить по черзі через всі корпуси установки, а сироп виходить з концентратора.

Первинний пар використовується тільки в I корпусі випарної установки. Наступний корпус обігривається вторинною парою попереднього корпусу. Пара надходить з останнього корпусу в концентратор, а звідти в конденсатор. Чотирьох корпусна випарна установка з концентратором характеризується високою частотою використання вторинної пари, що підвищує стабільність роботи і володіє високою тепловою ефективністю. Маса води, яка випаровується в установці, залежить від вмісту сухої речовини в очищеному соку і сиропі. Конденсат, що утворюється в випарниках і інших теплообмінниках, систематично відводиться в колектор через колону для збору конденсату. Конденсат відпрацьованої пари використовується для живлення парового котла, а конденсат вторинної пари використовується для підігріву різних напівфабрикатів.

Під час випаровування в соку відбуваються хімічні перетворення: знижується рН, підвищується кольоровість і випадає осад. Отриманий сироп для освітлення пропускають через сульфідний агент і вводять в нього  $\text{SO}_2$ .

Утворення накипу на внутрішній поверхні трубок випарного пристрою через виділення і відкладення солей мінерального походження завжди знижує

коефіцієнт теплопередачі і знижує продуктивність станції. Для відновлення нормальної роботи випарної станції використовуються механічні або хімічні методи очищення поверхні нагріву. Пропускаючи сік через іонообмінну смолу, можна використовувати опріснення соку перед випарюванням.

Боротися з утворенням накипу в теплообміннику можна за допомогою ультразвукових коливань, які порушують процес утворення накипу і руйнують її.

## **2.8 Варіння, кристалізація і центрифугування утфелів**

Кристалізація цукру є завершальним етапом його виробництва. Тут з багатокомпонентної суміші, що представляє собою сироп, виділяють практично чисту сахарозу.

У відділенні очищення соків з дифузійного соку видаляється близько 1/3 нецукрових речовин, а решта надходить в продуктове відділення разом з сахарозою, і більша частина сахарози кристалізується у вигляді цукрового піску, а нецукрові речовини залишаються в міжкристалічному розчині.

Цукор отримують шляхом багатостадійної кристалізації. Найбільш популярними є 2-х і 3-х ступінчаста схеми, що застосовуються в продуктовому відділі. При двоступеневої кристалізації сироп уварюють у вакуумному пристрої до концентрації 92,5%с ухорі речовини (близько 85% якого становить сахароза). Це утфель для кристалізації, що складається з кристалів сахарози (55%) і маточного розчину між кристалами, що містить сахарозу і нецукрові речовини. Коли утфель центрифугують, відокремлюють 1-й відлив (матковий розчин) і 2-й відлив, який являє собою кристалічну сахарозу, після центрифугування після промивання кристалів сахарози гарячою екстракційної водою в кількості 3-3,5% від маси сахарози отримують готовий продукт (білий цукровий пісок). Другий шар, що містить близько 85% сахарози в перерахунку на суху речовину, використовується для приготування і кристалізації вафель. З першого шару, що містить близько 78% сахарози, утворюється кристалізований шар II (95% сухих речовин). Щоб отримати більше цукру з маточного розчину, кристалізовану

вафлю II охолоджують до 40°C в мішалці протягом 24 годин і центрифугують для отримання жовтого цукру і патоки.

З у схемі кристалізації варять 3 вафлі. А з вафель виходить білий цукровий пісок. II Вафля - жовтий цукор, повернутий після розчинення в сиропі; III вафля, уварена через витікання з вафлі II кристалізації – жовтий цукор, повернутий в сироп після додаткового очищення 3. Перевагою такої схеми виробництва є найвищий вихід і якість продукції. Меляса - це відходи, які зважуються і відправляються на меляси.

## 2.9 Висушування, охолодження та зберігання цукру

Для забезпечення тривалого зберігання вологість повинна відповідати відносній вологості при зберіганні. Вологість і температура нормалізуються в залежності від способу зберігання.

Є 2 способи економії:

- Контейнер-мішок вагою 50 кг, вологість до 0,14% і температура до 25,5°C;
- Місткість 10000-20000 тонн, вологість не більше 0,04% і температура не більше 22,5°C.

Після центрифуги цукровий пісок вологістю 0,8-1,2% подається вібраційним конвеєром на елеватор. Вологий цукор піднімається елеватором і надходить в суху частину установки, де його сушать гарячим повітрям. Сушку проводять в прямоточному режимі, щоб не перевищувати критичну температуру розкладання сахарози (85,5°C). Цукор охолоджується в протитечії, температура цукру знижується до 20,5°C, а вологість - до 0,14%.

Висушений і охолоджений цукровий пісок подається в розсипну машину, де відокремлюються конгломерати і дрібні фракції. Після просіювання цукор відправляється в бункери, розташовані в пакувальному відділенні, звідки він розфасовується, зважується, зашивається і подається на склад стрічковим конвеєром.

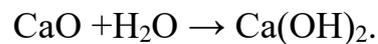
## 2.10 Отримання вапнякового молока та сатураційного газу

З складу зберігання вапняк конвейєром подають на сортування. Відсортований вапняк конвейєром подають в бункер-накопичувач палива. Паливо подають через дотвор.

Після завантаження порції шихти направляючий ківш піднімається до верху печі. При перекиданні шихта висипається в воронку для зв'язування. Насичений газ, отриманий в результаті випалу вапняку, надходить в компресор, який подає його на установку:



З немеленого вапна отримують вапнякове молоко, яке насосом подають на дефекацію:



### 3 ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ ЦУКРОВОГО ВИРОБНИЦТВА

Цукрова промисловість, як і інші галузі харчової промисловості, робить негативний вплив на навколишнє середовище – це впливає на атмосферу, водойми і водовідведення, оскільки при виробництві цукру утворюються тверді, газоподібні відходи і рідкі стічні води (рисунок 3.1) [12-19].

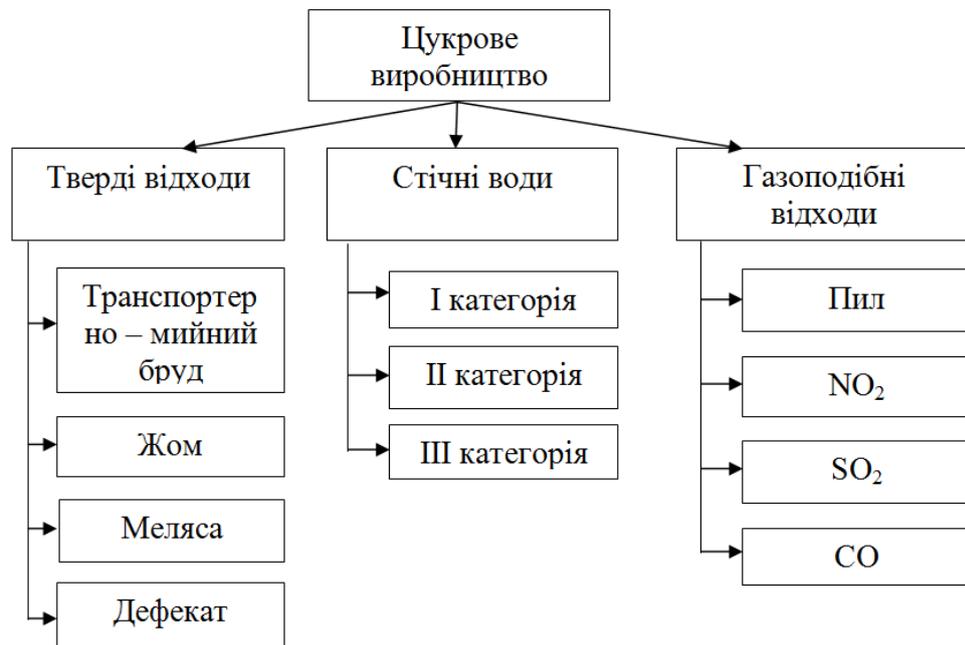


Рисунок 3.1 – Відходи цукрового виробництва

Буряковий жом – це відходи, які залишаються після вилучення цукру з коренеплодів буряка шляхом віджиму соку з буряка дифузійним методом. Вихід жому при виробництві цукру становить до 90% від маси буряка. До складу м'якоті входить 5-6% сухих речовин, решта – вода. До сухих речовин відносяться цукор, пектин, білок, клітковина та ін. Крім легкозасвоюваних речовин, що не містять азоту, м'якоть містить лізин і треонін, яких найбільше невістачає в зерновій сировині, амінокислоти, вітамін С і білки. М'якоть має досить високу харчову цінність, тому її дуже добре використовувати на комбикормових заводах.

Після виходу з дифузора не стиснута м'якоть вважається свіжою і зберігається протягом трьох днів. У ньому багато води, тому перевозити його на великі відстані недоцільно. Тому м'якоть, яку потрібно довго зберігати або перевозити на великі відстані, краще сушити. Свіжа м'якоть використовується для відгодівлі тварин і поміщається в жомні ями для тривалого зберігання або сушіння.

Кислиця – це м'якоть, укладена товстим шаром в мезгу, ферментація якої відбувалася під дією молочнокислих бактерій. При цьому з м'якоті видаляється частина води, тому її маса зменшується на 40%. Така м'якоть має неприємний запах через її утворення в несприятливих умовах і під впливом мікроорганізмів, за винятком молочної, Масляної і оцтової кислот. Втрата поживних властивостей м'якоті може досягати 60%. Кисла вода, що утворюється при зберіганні целюлози, є стічною водою, яка підлягає знезараженню і подальшій переробці.

Сушена целюлоза – це продукт, який був висушений до вологості 10-12%. Велика частина води видаляється за допомогою преса для віджиму целюлози. Після осадження та видалення осаду стиснуту воду стерилізують у суміші з попередньо обробленим гарячим конденсатом і повертають у процес дифузії для виділення цукру з бурякової стружки.

Ось переваги сухого жому в порівнянні зі свіжим і кислим:

- Кількість всіх поживних речовин залишається таким же, як і в свіжій м'якоті;
- Загальна поживна цінність в 10-12 разів вище, ніж у свіжій м'якоті;
- Засвоюваність білків і екстрактів становить 75-77%.

Висушена речовина є транспортабельним, так як воно практично не втрачається при зберіганні сухого жому. Недоліком сухого жому є те, що вміст білка в ньому на 10,2% нижче. Вартість 1 одиниці поставки збільшується через досить високі витрати на паливо для сушіння. Суха целюлоза має досить низький насипний вага - 250 кг/м<sup>3</sup>. Для її зберігання потрібно склад великої місткості.

Таким чином, суха целюлоза з добавками зберігається у вигляді брикетів з об'ємною вагою близько 750 кг/м<sup>3</sup>. Також суху целюлозу виготовляють у вигляді

гранул, а цех сушіння целюлози оснащений гранулятором. У таблиці 3.1 наведено приблизний хімічний склад свіжої та пресованої кислої целюлози.

Таблиця 3.1 – Хімічний склад жому, %

Показники	Жом свіжий	Жом віджатий	Жом кислий
Вода	91 – 94	14 – 20	11 – 15
Суша речовина	6 – 9	80 – 86	85 – 89
Сирий протеїн	10	10,2	14
Білок	8,6	8,9	12,3
Сира клітковина	22,9	21,7	32,5
Безазотисті екстракційні речовини	62,9	65,8	43
Мінеральні речовини	4,2	4,2	7

Меляса – це матковий розчин з кристалів, який відділяється центрифугуванням пластин від кінцевого продукту цукрового виробництва. Патока (патока-меляса) є поширеним побічним продуктом вилучення або очищення цукру з буряка або цукрової тростини. Це коричнева або червона в'язка субстанція з вираженим вмістом цукру, з повільною швидкістю кристалізації. Меляса також може бути у вигляді порошку. За хімічним складом меляса являє собою концентрований розчин сахарози і нецукрів, який містить близько 10% розчиненого цукру, що становить 15-50% від усіх цукрів, що містяться в переробленій буряку. Меляса містить органічні і неорганічні речовини. До складу органічних не входять речовини, що не містять азоту, і речовини, що містять азот. До азотистих речовин відносяться бетаїн, піролідон, карбонова кислота, глютамінова кислота, аспарагінова кислота, лейцин, ізолейцин, гліколь, аланін, валін. нецукри, які не містять азоту, входять до складу вуглеводів (зворотний цукор, рафіноза) і органічних кислот (молочна, мурашина, оцтова, Масляна, лимонна). Патока також містить невелику кількість заліза, кобальту, свинцю, бору, кремнію, срібла, йоду, марганцю та молібдену. Основні фізико-хімічні параметри меляси наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 Основні фізико-хімічні показники меляси

Показники	% за масою
Масова частка води	19 – 24
Масова частка сухих речовин	76 – 81
Масова частка сахарози	46 – 49
Масова частка нецукрів	30 – 33
Вміст загального азоту	1,5 – 2,0
Вміст молочної кислоти	4 – 6
Вміст оцтової та мурашиної кислот	0,2 – 0,5

Одним із способів використання патоки є її знецінення, що дозволяє цукровому заводу отримувати додатковий цукор. Однак цей спосіб не завжди економічний і вимагає врахування багатьох факторів, таких як кількість одержуваної патоки, можливість її використання в інших цілях, необхідність вилучення додаткових цукрів.

Подальше вилучення цукру з патоки неможливо за звичайною схемою її виробництва з буряка. Тому для отримання сахарози з меляси необхідно застосування спеціального методу осадження сахарози з меляси оксидами лужно-земельних металів (виділення вапняку, барію, стронцію).

Бурякова патока (або кормова патока) сама по собі, як правило, непридатна для споживання людиною, але деякі рафіновані фракції патоки з цукрової тростини придатні для вживання в їжу, так і як патока або тис, які використовуються у значних кількостях як кормові добавки для виробництва комбінованих кормів та для ароматизації грубих кормів. Вона ефективно зброджується в спирт. Тому велика її частина відправляється на мелясзавод. Патока також використовується на цих рослинах для вирощування кормових дріжджів. На дріжджовому заводі з неї виробляють хлібопекарські дріжджі. Меляса також є сировиною для отримання шляхом ферментації лимонної, молочної та інших органічних кислот.

Дефекація (позаклітинний продукт) - це продукт взаємодії нецукрових виділень соку при очищенні з вапном і вуглекислим газом (IV). Дефекація є побічним продуктом при виробництві бурякового цукру. Випорожнення

складаються на 60-80% з  $\text{CaCO}_3$ , на 20-25% з органічних і мінеральних речовин, що не містять цукру, особливо азотистих і безазотистих сполук (білки, пектинові речовини, солі кальцію, щавлева кислота, лимонна кислота, яблука). Відфільтрований осад містить до 0,15%  $\text{K}_2\text{O}$ , до 0,7%  $\text{Ni}$  до 0,7%  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Вологість фільтрувального осаду становить близько 65%.

Фільтраційний осад утворюється на цукровому заводі в процесі попередньої і основної дефекації, а також при насиченні, сульфатації і проміжної фільтрації соку.

Фільтраційний осад являє собою мінеральне (вапнякове) добриво, спеціально призначене для кальцифікації кислих ґрунтів. Він нейтралізує надлишкову кислотність ґрунту, покращує водостійкість і розпушення глинистої структури ґрунту, а також засвоюваність добрив, особливо азотних і фосфорних. Попередньо насичені опади, збагачені органо мінеральними речовинами, можна використовувати в якості добавок до кормів.

Пропонується регенерувати вапно і вуглекислий газ з неї для повторного використання відфільтрованого осаду в цукровій промисловості [19, 20].

## **4 АНАЛІЗ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ДІЯЛЬНОСТІ ПАТ «КРИЖОПІЛЬСЬКИЙ ЦУКРОВИЙ ЗАВОД»**

ПрАТ «Продовольча компанія «Поділля» (ПАТ «Крижопільський цукровий завод») спеціалізується на переробці цукрового буряка та виробництві цукру. Виробництво цукру-піску здійснюється по типовій технологічній схемі.

### **4.1 Загальні відомості про підприємство ПАТ «Крижопільський цукровий завод»**

Промисловий майданчик ПАТ «Крижопільський цукровий завод» розташований за адресою: Вінницька область, Крижопільський р-н, с. Городівка, вул. Благовіщенська, 103 (рисунки 4.1- 4.4) налічує загалом 51 джерело викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря: труба сатуратора I ступеню, труба сатуратора II ступеню, труба скиду сатураційного газу, труба сульфитації сиропу, труба сульфитації води, труба сушильного барабану, бункер розвантаження вапняку та вугілля, дробарка вапняку, грохот вапняку, транспортер вапнякового каменю та вугілля, відвантаження відходів вугілля, труба вапногасильного апарату, труба вивантаження негашеного вапна (4 шт.), розвантаження вугілля на склад, склад зберігання вугілля, завантаження вугілля зі складу, розвантаження вапняку на склад, склад зберігання вапняку, завантаження вапняку зі складу, димова труба котла (для обшпарки цистерн), злив мазуту із залізничних цистерн, дихальний клапан приймального резервуару мазуту, насоси перекачування мазуту, дихальний клапан резервуару зберігання мазуту (2 шт.), труба котлів №1,2, труба опалювального котла (службові приміщення, 2 шт.), ШРП, ГРП, пилорама, витяжна труба обжарювання харчових продуктів, пост електрозварювання (2 шт.), заточний верстат (2 шт.), димова труба кузні, заправний пристрій ДП, заправний пристрій бензину, дихальний клапан резервуару для зберігання нафтопродуктів (2 шт.), акумуляторна,

бетонозмішувач, навантажувач буряків (2 шт.), труба опалювального котла №6, поля фільтрації [20, 21].

Переробна потужність цукрового заводу становить 8000 т буряків на добу. Підприємство виробляє цукор I-II категорії та реалізує його під ТМ «ПрАТ «Продовольча компанія "Поділля"». Побічні продукти виробництва, такі як меляса і гранульований жом, реалізуються як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринку.



Рисунок 4.1 – Загальний вигляд промислового майданчику ПАТ «Крижопільський цукровий завод»

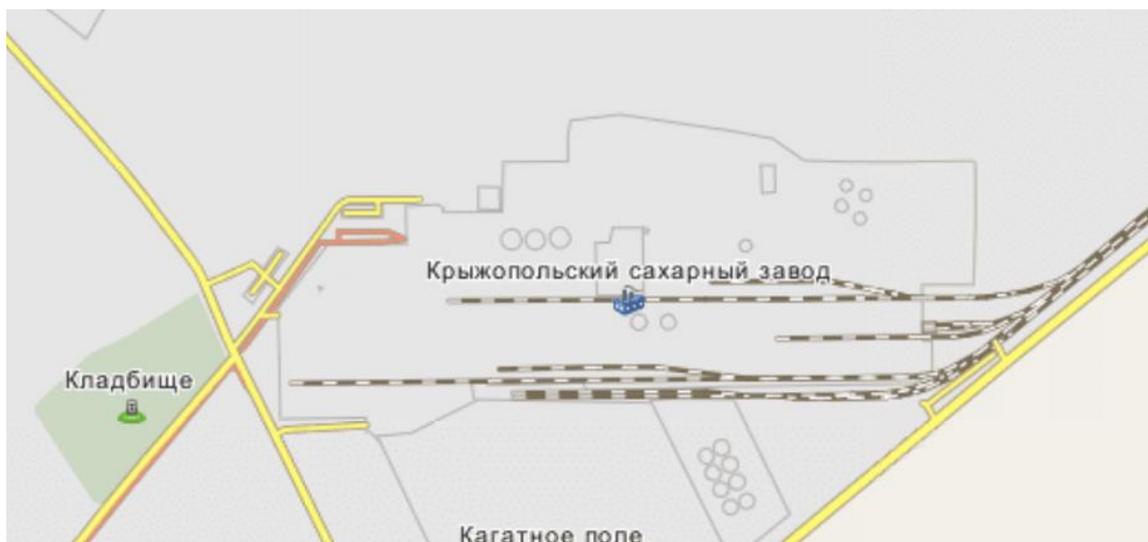


Рисунок 4.2 – Схема транспортних шляхів промислового майданчику ПАТ «Крижопільський цукровий завод»

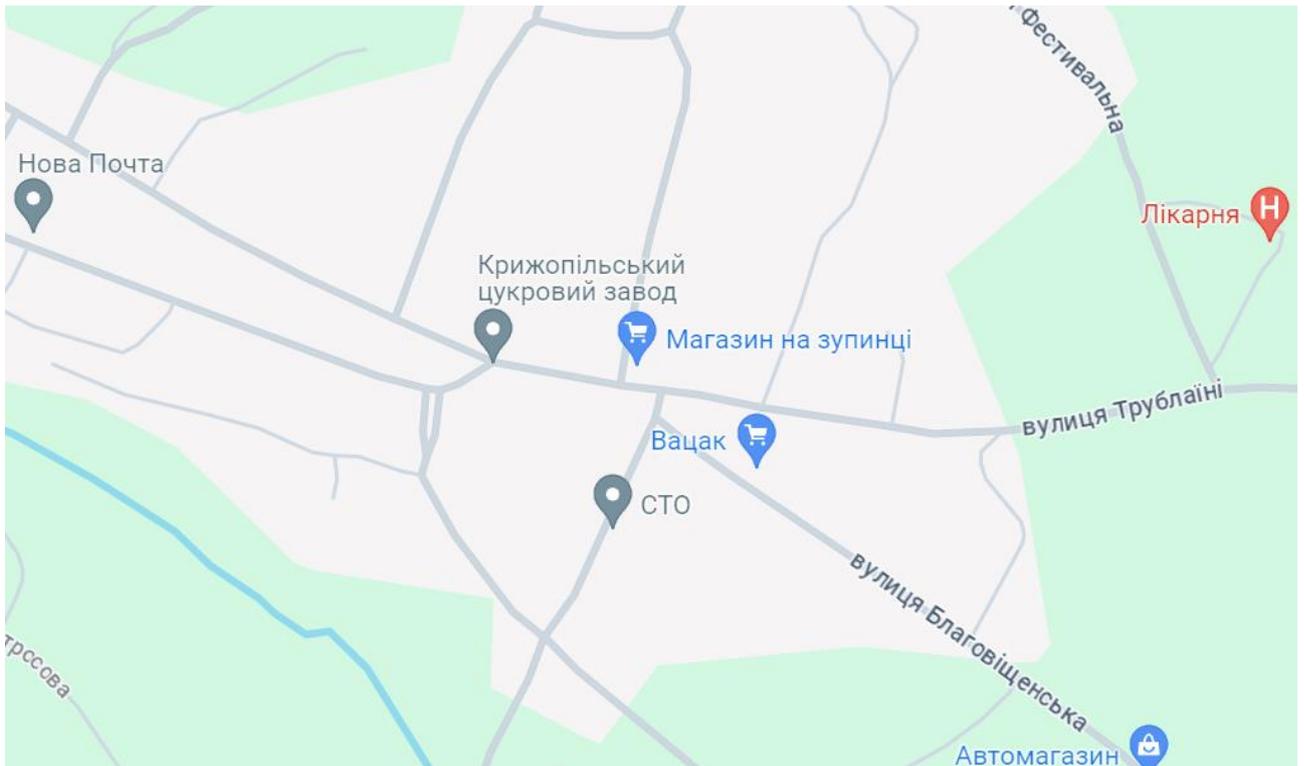


Рисунок 4.3 – Мапа розміщення ПАТ «Крижопільський цукровий завод»

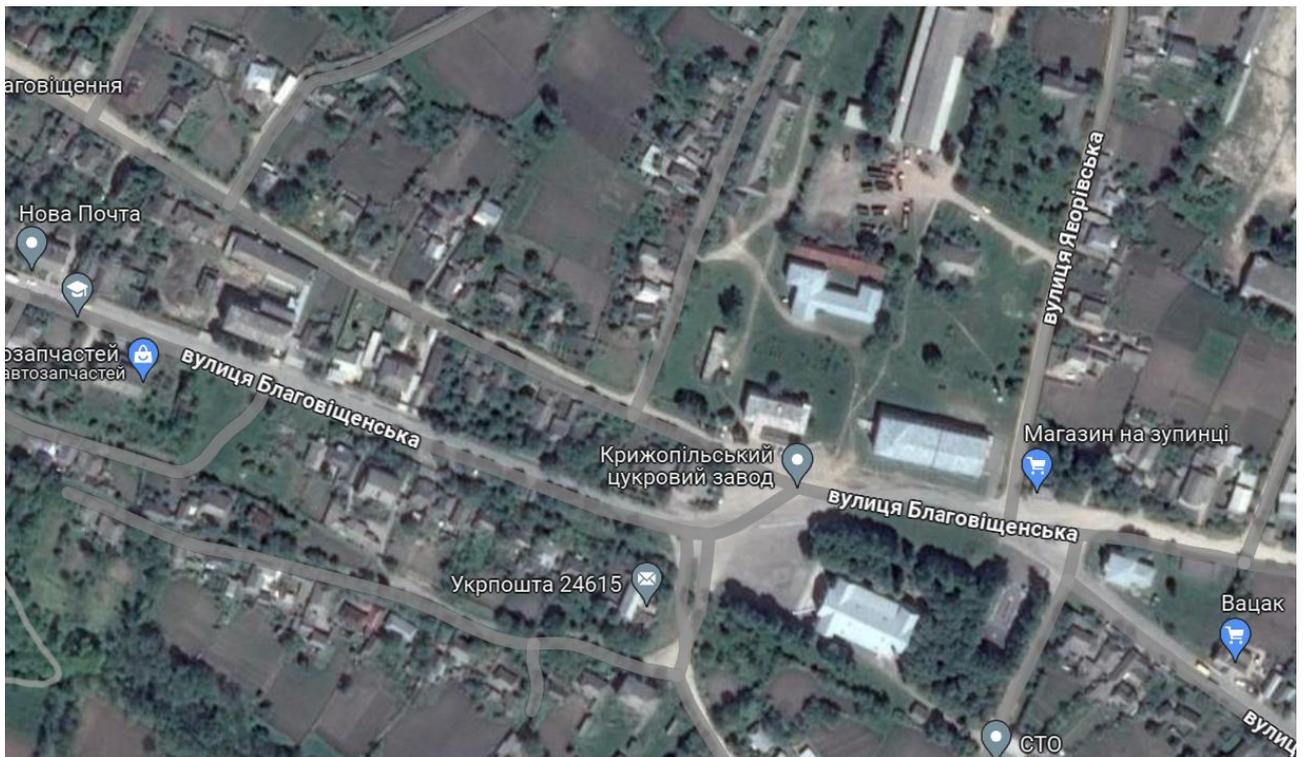


Рисунок 4.4 – Супутникова Google Мапа ПАТ «Крижопільський цукровий завод»

З цих джерел забруднення промислових об'єктів в атмосферне повітря потрапляють наступні забруднюючі речовини: оксиди вуглецю, діоксид сірки,

діоксид азоту, НМЛОС, зола, метан, неорганічний пил з вмістом діоксиду кремнію в %: -20 або менше, цукровий пил, вуглеводні, вугільний пил, оксид кальцію, бензин, залізний оксид, гідроксид кальцію, абразивний металевий пил, сажа, високо розчинний фторид, малорозчинний фторид, Марганець - 70-20%, аміак, сульфатні кислоти, оксиди акролеїну, діоксид вуглецю та діазот.

Загальний обсяг викидів забруднюючих речовин становить 305,549 тонн на рік.

- Діоксид вуглецю-28028,848 тонн на рік;
- Оксид діазоту-0,096 тонн на рік.

Підприємство відноситься до IV класу за розміром нормативної санітарно-захисної зони - 100 м (Основне виробництво). Оскільки тут знаходиться целюлозний кар'єр, розмір санітарно-захисної зони від нього встановлений в 300 м, найкоротша відстань від джерела викидів до житлового будинку – 250м, А карта стану підприємств з джерелами викидів забруднюючих речовин в атмосферу представлена в додатку А.

Робота підприємства носить сезонний характер, а режим роботи з виробництва цукру становить 120 днів на рік. Це механізоване підприємство з новою схемою автоматизації виробничого процесу.

На заводі є секції цех і від основного і допоміжного виробництва, складські площі і приміщення, автотранспортні засоби і служби управління заводом.

Основним продуктом цукрового заводу є цукор з цукрових буряків. В результаті їх переробки утворюються побічні продукти: жом, патока, дефекації.

Жом продається сільськогосподарським підприємствам і населенню в якості корму для худоби.

Патока продається на підприємствах спиртової промисловості для виробництва спирту, також використовується для виробництва кормових і хлібопекарських дріжджів, лимонної кислоти, частково використовується на корм худобі.

Оскільки випорожнення є дуже хорошим добривом для ґрунту, їх також продають сільськогосподарським підприємствам та населенню.

За призначенням готової продукції цукровий завод відноситься як до групи "а", оскільки виробляє продукцію, яка поставляється в якості сировини в інші галузі харчової промисловості (кондитерські вироби, пекарні і т.д.), так і до групи "в", продукція якої поставляється безпосередньо перед колективом.

Карта-схема ПАТ «Крижопільський цукровий завод» по виробництву цукру–піску з цукрових буряків наведена у (додатку Б).

#### **4.2 Характеристика джерел утворення та викидів забруднюючих речовин ПАТ «Крижопільський цукровий завод»**

На території підприємства розташована котельня, в якій по черзі працюють 2 котла БРУОН 30. Немає необхідності приводити в дію всі 3 котла, оскільки розрахункове навантаження пристрою значно перевищує реальну. Для роботи котлів використовується природний газ. Основним видом палива є мазут. В результаті спалювання природного газу в атмосферу викидаються такі забруднюючі речовини, як діоксид азоту, монооксид вуглецю, метан, двоокис вуглецю і оксид діазолу. В результаті спалювання мазуту в атмосферу викидаються такі забруднюючі речовини, як діоксид азоту, оксид вуглецю, зола, діоксид сірки, неметанові Леткі органічні сполуки, метан, діоксид вуглецю, оксид діазолу.

Для очищення бурякового соку компанія використовує сатуратори I і II класі водо очищення. В ході цього процесу в атмосферу викидаються монооксид вуглецю, діоксид азоту, діоксид сірки, НМЛОС, метан і парникові гази: окислені діазоли і діоксид вуглецю. Процес утворення насичених газів відбувається в результаті спалювання вапнякових каменів разом з вугіллям з утворенням діоксиду азоту, діоксиду сірки, НМЛОС, метану і парникових газів. Оксид діазоту і діоксид вуглецю.

У технологічному процесі використовується сульфідний процес, при якому виділяються діоксид сірки, діоксид азоту і монооксид вуглецю. Процес утворення

діоксиду сірки в сульфідах здійснюється за рахунок спалювання з утворенням діоксиду азоту і монооксиду вуглецю.

Сушильна камера використовується в технологічному процесі для сушіння цукру, і обладнання оснащено 2 циклонами: сушки ізволоження, її ККД становить 98%. Цукровий пил викидається в атмосферу.

Компанія використовує вугілля і вапняковий камінь, який використовується для технічних потреб підприємства. Сировина доставляється на майданчик автотранспортом. В ході технологічного процесу в атмосферне повітря викидається вугільний і вапняковий пил, неорганічний пил з вмістом діоксиду кремнію менше 20%.

Для гасіння вапна компанія використовує обладнання для пожежогасіння сльодяним паром. При гасінні вапна в атмосферу викидається гідроксид кальцію.

Котел обладнаний на території підприємства і використовується для технічних потреб підприємства, нагріваючи воду для змиву мазуту з резервуара. Котел працює на вугіллі, в результаті згоряння якого в повітря викидаються діоксид азоту, монооксид вуглецю, діоксид сірки, зола, НМЛОС, вуглекислий газ, метаніоксид діазолу.

Нафтопродукти вивантажуються, зберігаються і розливаються по пляшках на території підприємства. При цьому в атмосферу викидаються насичені вуглеводні і бензин.

У цеху і службових роздягальнях будуть встановлені і експлуатуватися 5 опалювальних печей потужністю по 2кВт кожна, де якості палива будуть використовуватися дрова. При спалюванні деревини в атмосферу потрапляють такі забруднюючі речовини: діоксид азоту, монооксид вуглецю, діоксид сірки, зола, НМЛОС, метан і парникові гази: окислені діазоли і діоксид вуглецю. Димові гази виводяться через димохід.

На території підприємства встановлені і експлуатуються газорегуляторні і кабінетні азорегуляторні станції, призначені для зниження тиску газу на вході до заданого рівня і підтримки його постійним на виході незалежно від споживання газу. При цьому відбувається викид метану в атмосферу.

На підприємстві є лісопильний цех, де здійснюється розпилювання деревини. В результаті цього технологічного процесу в атмосферу потрапляє деревний пил.

Приміщення для приготування їжі обладнано витяжною трубою. При обсмажуванні рослинних продуктів в атмосферу потрапляє акролеїн. Пристрій працює 1 день протягом 12 годин. При запіканні м'ясних продуктів в атмосферу виділяються наступні речовини: аміак, пропіоновий альдегід і фенол. Для ремонту обладнання на промислових об'єктах застосовується електродугове зварювання електродами марок АНО-36, та УОНИ13/55. Електрозварювання поста виконується періодично. В атмосферу викидаються такі забруднюючі речовини: оксид заліза, оксид марганцю, діоксид кремнію, добре розчинний фторид, погано розчинний фторид, фтористий водень, діоксид азоту, оксид вуглецю. Для заточування ріжучого інструменту і розкрою металу на підприємстві використовуються шліфувальні верстати з полірувальними кругами діаметром 250 мм.при цьому в атмосферу викидається абразивний металевий пил.

Кування застосовується на підприємствах для обробки металу методом гарячого кування. В результаті роботи печі в атмосферу викидаються забруднюючі речовини: діоксид азоту, монооксид вуглецю, діоксид сірки, зола, метан, НМЛОС, діоксид вуглецю, оксид діазоту.

На підприємстві є складське приміщення, в результаті чого відбувається викид сірчаної кислоти в атмосферу.

У районі кагатського родовища 2 дизельних навантажувача використовуються для завантаження буряків і викиду в атмосферу окису вуглецю, вуглеводнів, діоксиду азоту, діоксиду сірки і сажі. На території Кагатського родовища в приміщеннях теплових пункті в встановлені і експлуатуються котли власного виробництва, де в якості палива використовуються дрова. При спалюванні деревини в атмосферу потрапляють такі забруднюючі речовини: діоксид азоту, монооксид вуглецю, діоксид сірки, зола, НМЛОС, метан і парникові гази: окислені діазоли і діоксид вуглецю.

На території підприємства розташоване поле фільтрації, куди скидаються стічні води технологічних процесів для подальшого відстоювання. В атмосферу викидаються НМЛОС.

Основними технологічними процесами, що призводять до забруднення повітря при виробництві цукру на ПАТ "Крижопільський цукровий завод", є:

- Насичення соку;
- Сульфатування соку, сиропу і води;
- Згущення сиропу і кристалізація цукру;
- Випал вапняку;
- Гасіння вапняку;
- Зберігання та транспортування вапняку та вугілля;
- Енергопостачання.

Технологічний процес передбачає викид забруднюючих речовин в атмосферу. На підприємстві зафіксовано 34 джерела викидів забруднюючих речовин.

Сатурація (обробка соку вуглекислим газом з метою очищення його від неуглеводних речовин шляхом абсорбції на поверхні утворюються кристалів  $\text{CaCO}_3$  проводиться в два етапи. В процесі сатурації в атмосферу викидаються залишки оксиду вуглецю (IV).

Сульфатація (розчин цукру в соку, сиропі та воді обробляється оксидом сірчаної кислоти (IV)) це робиться в рідинно-струменевому сульфататорі. Після обробки соку, сиропу і води в сульфатирующем засобі  $\text{SO}_2$  потрапляє в атмосферу.

Під час згущення соку і кристалізації цукру аміак видаляється з випарної установи в вакуумного пристрою.

Сушарка з киплячим шаром використовується для сушіння цукру. Всмоктуване повітря з сушильної установки повністю вловлює цукровий пил в мокрому пилосбірнику, цукровий пил залишається на виході, а потім викидається в атмосферу за допомогою гідравлічних уловлювачів.

Під час випалу вапняку і гасіння вапна в обладнанні для гасіння вапна в атмосферу по трапляє пил оксиду кальцію (при вивантаженні з печі потрібно гідравлічне пилоподавлення).

Запаси вапняку і вугілля зберігаються на відкритих майданчиках. При навантаженні-розвантаженні і зберіганні матеріалів відбувається викид вапнякового і вугільного пилу.

Поле фільтрації, куди скидаються стічні води III категорії, розташоване за межами території заводу.

Ремонт і технічне обслуговування технічних вузлів здійснюється ремонтною службою підприємства. У механічному цеху основними причинами забруднення є:

- Виділення оксиду зоту(IV), оксиду вуглецю (II), сірчаної кислоти (IV) і золи;

- Зварювальні роботи проводяться на пересувних станціях електрозварювання і газового різання, де в атмосферу викидаються зварювальні аерозолі (оксид заліза (III), марганець і його сполуки, оксид азоту (IV), оксид вуглецю (II)).

Робота деревообробного обладнання на ділянці теслі пов'язана з викидом деревного пилу в атмосферу.

У транспортному секторі виконується багато робіт зі скиданням забруднюючих речовин в атмосферу.

При зарядці акумуляторної батареї в атмосферу викидаються пари сірчаної кислоти.

Під час зварювальних робіт на станціях електрозварювання і газового різання в атмосферу потрапляють зварювальні аерозолі (оксид заліза (III), марганець і його сполуки, оксид азоту (IV), оксид вуглецю (II)).

При фарбуванні автомобіля перед технічним оглядом в атмосферу викидаються ксилол і уайт-спірит.

Компанія пропонує парковку для автомобілів. Під час руху транспортного засобу по території заводу в атмосферу потрапляє конденсатне родовище, оксид азоту (IV), оксид вуглецю (II) і насичені вуглеводні.

Енергопостачання підприємства здійснюється від власної теплової електростанції (ТЕЦ).

У котельні встановлено 5 котлів: ДКВР – 16/23 – 4 шт. та ДКВР – 20/23 1 штаток. 4 з них працюють, а 1 є резервним. Вони оснащені індивідуальними відцентровими вентиляторами і відцентровими димососами ДН–13,5 і ДН-12. Кожен котел оснащений контрольно-вимірювальною апаратурою і автоматикою подачі води в котел з пристроєм захисту і сигналізації, системою подачі води і горіння. Котли розташовані в 1 ряд. Передбачається, що одночасно працюють 4 котла. Котельня працює на природному газі, в результаті чого в атмосферу викидаються оксид азоту (IV) і оксид вуглецю. Продукти згорання з котла виводяться через димохід висотою 60 м і діаметром 2,2 м. екологічні та теплотехнічні характеристики парових котлів ДКВР–16/23 і ДКВР-20/23 наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Еколого-теплотехнічні характеристики парових котлів ДКВР – 16/23 та ДКВР – 20/23

Параметри	Парові котли				
	ДКВР 20/23 ст. №1	ДКВР 16/23 ст. №2	ДКВР 16/23 ст. №3	ДКВР 16/23 ст. №4	ДКВР 16/23 ст. №5
Тривалість роботи, год	176,6	648	620	432	528
Номінальне навантаження, т/год	20	16	16	16	16
Середня теплопродуктивність, Гкал/год	13,665	6,606	9,912	10,1	9,208
Витрата палива, м <sup>3</sup> /год	778,625	903,542	1110,417	1120,333	1146,458
Температура вихідних газів, °С	126 ± 5	117 ± 5	125 ± 5	137 ± 2	123,9 ± 2

Резервним паливом є мазут. При роботі котельні на мазуті в атмосфері утворюється сажа. Резервне паливо доставляється на підприємства залізницею, зберігається в цистернах і перекачується за допомогою насосів. Цей процес передбачає викид насичених вуглеводнів в атмосферу.

#### 4.3 Розрахунок викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря

Розрахунок викидів забруднюючих речовин, що надходять в атмосферу проводиться згідно типової інструкції по організації системи контролю промислових викидів в атмосферу в галузях промисловості [15-19].

Розрахунок викиду оксиду карбону (IV) від I і II сатуратора (джерело викиду № 1 і № 2) проводиться згідно формули:

$$M_{CO_2} = V_{сз} \cdot I \cdot K \cdot g_{CO_2}, \quad (4.1)$$

де  $M_{CO_2}$  – максимальний секундний викид оксиду карбону (IV), т/рік, г/с;

$V_{сз}$  – об'єм сатураційного газу, який використовується при виробництві цукру, м<sup>3</sup>/рік;

$I$  – масова частка оксиду карбону (IV) в сатураційному газі, %;

$K$  – питомий викид оксиду карбону (IV) в атмосферу з врахуванням поглинання його в сатураторах – 30 %;

$g_{CO_2}$  – питома густина оксиду карбону (IV), кг/м<sup>3</sup>.

Річний об'єм сатураційного газу, який використовується при виробництві цукру розраховується за формулою:

$$V_{сз} = q \cdot G, \quad (4.2)$$

де  $V_{сз}$  – об'єм сатураційного газу, який використовується при виробництві цукру, м<sup>3</sup>/рік;

$q$  – питомий вихід сатураційного газу з 1 кг вапняку, м<sup>3</sup>/кг;

$G$  – річна витрата вапняку, кг/рік.

Дані для розрахунків:  $q = 0,86$  м<sup>3</sup>/кг,  $G = 21000$  кг/рік. Отже, річний об'єм сатураційного газу становить:

$$V_{c_2} = 0,86 \cdot 21000 = 18,06 \text{ (м}^3\text{/рік)}.$$

На першу сатурацію йде 65 % газу, а на другу – 35 %. Тоді об'єм сатураційного газу для першого і другого сатуратора становить:

$$V_{c_{21}} = 0,65 \cdot 18,06 \cdot 10^6 = 11,74 \cdot 10^6 \text{ (м}^3\text{/рік)},$$

$$V_{c_{22}} = 0,35 \cdot 18,06 \cdot 10^6 = 6,32 \cdot 10^6 \text{ (м}^3\text{/рік)}.$$

Отже, викид оксиду карбону (IV) від першого сатуратора становить:

$$M_{CO_2} = 11,74 \cdot 10^6 \cdot 0,01 \cdot 0,7 \cdot 1,25 \cdot 10^3 = 102,72 \text{ (т/рік)},$$

$$M_{CO_2} = 102,72 \cdot 10^6 / (120 \cdot 24 \cdot 3600) = 9,907 \text{ (г/с)}.$$

Викид оксиду карбону (IV) від другого сатуратора становить:

$$M_{CO_2} = 6,32 \cdot 10^6 \cdot 0,01 \cdot 0,7 \cdot 1,25 \cdot 10^3 = 55,3 \text{ (т/рік)},$$

$$M_{CO_2} = 55,3 \cdot 10^6 / (120 \cdot 24 \cdot 3600) = 5,33 \text{ (г/с)}.$$

Викид оксиду сульфуру (IV) від сульфітатора соку (джерело № 3), сульфітатора сиропу (джерело № 4) та сульфітатора води (джерело № 5), а також амоніаку, при згущенні сиропу та кристалізації цукру, розраховується за формулою:

$$M = Q_3 \cdot \frac{K}{1000}, \quad (4.3)$$

де  $M$  – максимальний секундний викид забруднюючої речовини, т/рік, г/с;

$Q_3$  – потужність заводу, т/рік;

$K$  – питома кількість забруднюючої речовини, яка викидається з джерела викиду, кг/т.

Питома кількість оксиду сульфуру (IV), яка викидається із сульфітатора соку рідинно-струйного типу складає 0,0035 кг/т буряку. Із сульфітатора сиропу – 0,0119 кг/т буряку; із сульфітатора води – 0,0026 кг/т. Загальна питома кількість амоніаку, яка викидається в атмосферу при згущуванні соку та кристалізації соку становить 0,017 кг/т буряку. Потужність заводу складає 300 тис. тон буряку в рік.

Отже, викид оксиду сульфуру (IV) від джерел № 3 – 5 та аміаку від джерела № 6 становлять:

$$M_{SO_2} = 300000 \cdot 0,0035 / 1000 = 1,05 \text{ (т/рік);}$$

$$M_{SO_2} = 1,05 \cdot 10^6 / (120 \cdot 24 \cdot 3600) = 0,1 \text{ (г/с).}$$

$$M_{SO_2} = 300000 \cdot 0,0119 / 1000 = 3,57 \text{ (т/рік);}$$

$$M_{SO_2} = 3,57 \cdot 10^6 / (120 \cdot 24 \cdot 3600) = 0,1 \text{ (г/с).}$$

$$M_{SO_2} = 300000 \cdot 0,0026 / 1000 = 0,78 \text{ (т/рік);}$$

$$M_{SO_2} = 0,78 \cdot 10^6 / (120 \cdot 24 \cdot 3600) = 0,075 \text{ (г/с).}$$

$$M_{NH_3} = 300000 \cdot 0,017 / 1000 = 5,1 \text{ (т/рік);}$$

$$M_{NH_3} = 5,1 \cdot 10^6 / (120 \cdot 24 \cdot 3600) = 0,49 \text{ (г/с).}$$

Викид пилу оксиду кальцію та гідроксиду кальцію розраховується за формулою:

$$M = Q \cdot 0,56 \cdot K \cdot 0,000001, \quad (4.4)$$

де  $M$  – максимальний секундний викид забруднюючої речовини, т/рік, г/с;

$Q$  – кількість вапняку, необхідна для виробництва, т/рік;

$0,56$  – вихід вапна від маси вапняку;

$K$  – кількість оксиду кальцію, який утворюється у вапняногасильному апараті з врахуванням пилеподавлення; кількість гідроксиду кальцію, що видаляється при гашенні вапна, г/т.

Дані для розрахунку:  $Q = 21000$  т/рік;  $K_{CaO} = 350$  г/т,  $K_{Ca(OH)_2} = 120$  г/т. Отже, викид пилу оксиду кальцію та гідроксиду кальцію становить:

$$M_{CaO} = 21000 \cdot 0,56 \cdot 350 \cdot 0,000001 = 4,12 \text{ (т/рік);}$$

$$M_{CaO} = 4,12 \cdot 10^6 / (120 \cdot 24 \cdot 3600) = 0,397 \text{ (г/с).}$$

$$M_{Ca(OH)_2} = 21000 \cdot 0,56 \cdot 120 \cdot 0,000001 = 1,411 \text{ (т/рік);}$$

$$M_{Ca(OH)_2} = 1,411 \cdot 10^6 / (120 \cdot 24 \cdot 3600) = 0,136 \text{ (г/с).}$$

Викиди пилу вапняку при його зберіганні та переміщені розраховуються за формулою:

$$M_{CaCO_3} = A + C, \quad (4.5)$$

$$A = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_7 \cdot G \cdot B \cdot 10^6 / 3600,$$

$$C = K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot F \cdot q,$$

де  $M_{CaCO_3}$  – викид пилу вапняку, г/с;

$A$  – викиди при переміщенні матеріалу;

$C$  – викиди при статичному зберіганні матеріалу;

$K_1$  – масова частка пилової фракції матеріалу;

$K_2$  – частка пилу, яка переходить в аерозоль;

$K_3$  – коефіцієнт, який враховує місцеві метеорологічні умови;

$K_4$  – коефіцієнт, який враховує місцеві умови, ступінь захисту від зовнішніх дій;

$K_5$  – коефіцієнт, який враховує вологість матеріалу;

$K_6$  – коефіцієнт, який враховує профіль поверхні матеріалу, що зберігається;

$K_7$  – коефіцієнт, який враховує величину матеріалу;

$G$  – загальна кількість матеріалу, яка переміщується;

$B$  – коефіцієнт, який враховує висоту переміщення матеріалу;

$F$  – площа поверхні на плані;

$q$  – винесення пилу з одного м<sup>2</sup> фактичної поверхні.

Розрахункові коефіцієнти:  $K_1 = 0,04$ ;  $K_2 = 0,02$ ;  $K_3 = 1,2$ ;  $K_4 = 1$ ;  $K_5 = 0,01$ ;  $K_6 = 1,3$ ;  $K_7 = 0,4$ ;  $G = 60$  м<sup>3</sup>/год;  $B = 0,4$ ;  $F = 600$  м<sup>2</sup>;  $q = 0,003$ .

Отже, викид пилу вапняку становить:

$$A = 0,04 \cdot 0,02 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 0,01 \cdot 0,4 \cdot 60 \cdot 0,4 \cdot 10^6 / 3600 = 0,0256 \text{ (г/с)},$$

$$C = 1,2 \cdot 1 \cdot 0,01 \cdot 1,3 \cdot 0,4 \cdot 600 \cdot 0,003 = 0,011 \text{ (г/с)},$$

$$M_{CaCO_3} = 0,0256 + 0,011 = 0,0366 \text{ (г/с)},$$

$$M_{CaCO_3} = (0,0256 \cdot 3600 \cdot 670 + 0,011 \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 365) / 10^6 = 0,41 \text{ (т/рік)}.$$

Викид золи, оксиду нітрогену (IV), оксиду сульфуру (IV) та оксиду карбону (II) від механічної майстерні при спалюванні твердого палива в ковальському горні розраховується за формулою:

$$M = B \cdot K / 1000, \quad (4.6)$$

де  $M$  – викид забруднюючої речовини, т/рік, г/с;

$B$  – витрата вугілля, т/рік;

$K$  – питома кількість забруднюючих речовин, які викидаються при спалюванні палива, кг/т.

Витрата вугілля становить 2 т/рік, а максимальна витрата за годину 2 кг/год або 0,55 г/с. Питома кількість забруднюючих речовин, які викидаються при спалюванні твердого палива становить:

- золи – 88,9 кг/т;
- оксиду нітрогену (IV) – 9,1 кг/т;
- оксиду сульфур (IV) – 6,8 кг/т;
- оксиду карбон (II) – 0,23 кг/т.

Отже, викид забруднюючих речовин, які викидаються при спалюванні твердого палива в ковальському горні становить:

$$M_{\text{золи}} = 2 \cdot 88,9 / 1000 = 0,718 \text{ (т/рік)},$$

$$M_{\text{золи}} = 0,55 \cdot 88,9 / 1000 = 0,049 \text{ (г/с)}.$$

$$M_{\text{NO}_2} = 2 \cdot 9,1 / 1000 = 0,018 \text{ (т/рік)},$$

$$M_{\text{NO}_2} = 0,55 \cdot 9,1 / 1000 = 0,005 \text{ (г/с)}.$$

$$M_{\text{SO}_2} = 2 \cdot 6,8 / 1000 = 0,014 \text{ (т/рік)},$$

$$M_{\text{SO}_2} = 0,55 \cdot 6,8 / 1000 = 0,004 \text{ (г/с)}.$$

$$M_{\text{CO}} = 2 \cdot 0,23 / 1000 = 0,0005 \text{ (т/рік)},$$

$$M_{\text{CO}} = 0,55 \cdot 0,23 / 1000 = 0,0001 \text{ (г/с)}.$$

Викид оксиду нітрогену (IV), який виділяється при згоранні газу в ТЕЦ, розраховується за формулою:

$$M_{\text{NO}_2} = 0,001 \cdot B \cdot Q \cdot K \cdot (1 - q), \quad (4.7)$$

де  $M_{\text{NO}_2}$  – викид оксиду нітрогену (IV), т/рік;

$B$  – витрата палива, т/рік, г/с;

$Q$  – теплота спалювання газу, МДж/кг;

$K$  – параметр, який характеризує кількість оксиду нітрогену (IV) на 1 ГДж тепла, кг/ГДж;

$q$  – коефіцієнт, який залежить від ступеню зниження викидів оксиду нітрогену (IV) внаслідок використання технічних рішень.

Дані для розрахунку:  $V = 15000 \text{ м}^3/\text{рік}$  або  $1447 \text{ дм}^3/\text{с}$ .,  $Q = 36,7 \text{ МДж/кг}$ ,  $K = 0,085 \text{ кг/ГДж}$ ;  $q = 0$ .

Викид оксиду нітрогену (IV) становить:

$$M_{NO_2} = 0,001 \cdot 15000 \cdot 36,7 \cdot 0,085 \cdot (1 - 0) = 46,79 \text{ (т/рік)},$$

$$M_{NO_2} = 0,001 \cdot 1447 \cdot 36,7 \cdot 0,085 \cdot (1 - 0) = 4,51 \text{ (г/с)}.$$

Викид оксиду карбону (II), який виділяється при згоранні газу в ТЕЦ розраховується за формулою:

$$M_{CO} = 0,001 \cdot C \cdot V \cdot (1 - q_4 / 100), \quad (4.8)$$

де  $M_{CO}$  – викид оксиду карбону (II), т/рік;

$C$  – вихід оксиду карбону (II) при спалюванні палива, кг/т;

$V$  – витрата палива, т/рік, г/с;

$q_4$  – втрати теплоти за рахунок механічної неповноти спалювання.

Дані для розрахунку:  $C = 9,175 \text{ кг/т}$ ,  $V = 15000 \text{ м}^3/\text{рік}$  або  $1447 \text{ дм}^3/\text{с}$ .,  $q_4 = 0,5$ . Отже, викид оксиду карбону (II) становить:

$$M_{CO} = 0,001 \cdot 9,175 \cdot 15000 \cdot (1 - 0,5 / 100) = 136,94 \text{ (т/рік)},$$

$$M_{CO} = 0,001 \cdot 9,175 \cdot 1447 \cdot (1 - 0,5 / 100) = 13,21 \text{ (г/с)}.$$

Розрахунок викидів твердих частинок сажі та недогорівшого палива в атмосферу при роботі ТЕЦ на мазуті розраховується за формулою:

$$M_{сажі} = B \cdot A \cdot L \cdot (1 - n), \quad (4.9)$$

де  $M_{сажі}$  – викид сажі, т/рік;

$B$  – витрата палива, т/рік, г/сек;

$A$  – зольність палива, %;

$n$  – частка твердих частинок, які товримуються в золоуловлювачах;

$L$  – коефіцієнт, який приймається в залежності від топки та виду палива.

Дані для розрахунку:  $B = 500$  т/рік або 1157 г/с,  $A = 0,14$  %,  $L = 0,01$ ,  $n = 0$ .

Викид сажі становить:

$$M_{сажі} = 500 \cdot 0,1 \cdot 0,01 \cdot (1 - 0) = 0,5 \text{ (т/рік)},$$

$$M_{сажі} = 1157 \cdot 0,1 \cdot 0,01 \cdot (1 - 0) = 1,157 \text{ (г/с)}.$$

Викид оксиду сульфуру (IV), який виділяється при згоранні мазуту в ТЕЦ розраховується за формулою:

$$M_{SO_2} = 0,02 \cdot B \cdot S \cdot (1 - n') \cdot (1 - n''), \quad (4.10)$$

де  $M_{SO_2}$  – викид оксиду сульфуру (IV), т/рік;

$B$  – витрата палива, т/рік, г/сек;

$S$  – вміст сірки в паливі, %;

$n'$  – частка  $SO_2$ , зв'язаною золою палива, % ;

$n''$  – частка  $SO_2$ , що товримується в золоуловлювачі, %.

Дані для розрахунку:  $B = 500$  т/рік або 1157 г/с,  $S = 3,5$  %,  $n' = 0,02$ ,  $n'' = 0$ .

Викид оксиду сульфуру (IV) становить:

$$M_{SO_2} = 0,02 \cdot 500 \cdot 3,5 \cdot (1 - 0,02) \cdot (1 - 0) = 34,3 \text{ (т/рік)},$$

$$M_{SO_2} = 0,02 \cdot 1157 \cdot 3,5 \cdot (1 - 0,02) \cdot (1 - 0) = 79,37 \text{ (г/с)}.$$

За формулою 4.8 розраховується викид оксиду карбону (II) при спалюванні мазуту. Дані для розрахунку:  $C = 12,92$  кг/т,  $B = 500$  т/рік або  $1157$  г/с,  $q_4 = 0,5$ .

Отже, викид оксиду карбону (II) становить:

$$M_{CO} = 0,001 \cdot 12,92 \cdot 500 \cdot (1 - 0,5 / 100) = 14,87 \text{ (т/рік)},$$

$$M_{CO} = 0,001 \cdot 12,92 \cdot 1157 \cdot (1 - 0,5 / 100) = 6,428 \text{ (г/с)}.$$

Викид оксиду нітрогену (IV), який виділяється при спалюванні мазуту в ТЕЦ розраховується за формулою 4.7. Дані для розрахунку  $B = 500$  м<sup>3</sup>/рік або  $1157$  дм<sup>3</sup>/с,  $Q = 39,79$  МДж/кг,  $K = 0,085$  кг/ГДж;  $q = 0$ .

Отже, викид оксиду нітрогену (IV) становить:

$$M_{NO_2} = 0,001 \cdot 500 \cdot 39,75 \cdot 0,085 \cdot (1 - 0) = 1,69 \text{ (т/рік)},$$

$$M_{NO_2} = 0,001 \cdot 1447 \cdot 36,7 \cdot 0,085 \cdot (1 - 0) = 3,909 \text{ (г/с)}.$$

В таблиці 4.2 наведені фактичні викиди сажі, оксиду сульфуру (IV), оксиду нітрогену (IV) та оксиду карбону (II), які надходять в атмосферу під час роботи ТЕЦ.

Таблиця 4.2 Валові викиди забруднюючих речовин, що надходять в атмосферу під час роботи ТЕЦ

Забруднююча речовина	Фактичний викид, т/рік	Фактичний викид, г/с
Сажа	0,5	1,157
SO <sub>2</sub>	34,3	79,37
NO <sub>2</sub>	48,48	8,419
CO	143,368	128,08

Аналогічні розрахунки проведено і для інших забруднюючих речовин, що викидаються в атмосферу. Кількісна та якісна характеристика забруднюючих речовин, що поступають в атмосферу від організованих та неорганізованих джерел викидів ПАТ «Крижопільський цукровий завод» наведено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Характеристика забруднюючих речовин, що поступають в атмосферу від організованих та неорганізованих джерел викидів ПАТ «Крижопільський цукровий завод»

Назва речовини	ГДК <sub>м.р</sub> ОБРВ	Клас небезпеки	Фактичні викиди речовини, т/рік
Нітроген (IV) оксид	0,06	2	47,96
Сульфур (IV) оксид	0,5	3	34,3
Карбон (II) оксид	5,0	4	178,58
Сажа	0,15	3	0,5
Манган та його сполуки	0,01	2	0,0045
Амоніак	0,2	4	5,1
Кислота сульфатна	0,3	2	0,00017
Ксилол	0,2	3	0,023
Бензин	5,0	4	0,0041
Насичені вуглеводні	1,0	4	3,6866
Зола	0,3	3	0,178
Кальцію оксид	0,05	3	4,12
Кальцію гідроксид	0,05	3	1,411
Кальцію карбонат	0,05	3	0,61
Сірка елементарна	0,07	-	0,009
Уайт-спірит	1,0	-	0,069
Пил вугільний	0,11	-	0,215
Оксид феруму (III)	0,04	3	0,091

З таблиці видно, що дане підприємство викидає в атмосферу найбільше оксиду нітрогену (II), оксиду сульфуру (II) та оксиду карбону (II). До джерел утворення цих речовин належать: сатуратори, сульфітатор, випарні та вакуумні апарати, ТЕЦ, мазутне господарство, механічна майстерня, ковальський горн, транспортне господарство. Також під час процесів випалювання вапняку, його транспортування та зберігання в атмосферу виділяється пил оксиду кальцію та гідроксид кальцію.

## 5 МОДЕЛЮВАННЯ РОЗСІЮВАННЯ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН В АТМОСФЕРІ

Шкідливі речовини, що утворюються в процесі насичення, сульфатації соків і сиропів, кристалізації цукру, кальцифікації сиропів, приготування вапняного молока, зберігання і транспортування вапняку, при експлуатації теплових електростанцій, потрапляючи в атмосферу на транспортних складах, призводять до забруднення і погіршення стану атмосфери.

### 5.1 Розрахунок приземної концентрації забруднюючих речовин викидів стаціонарних джерел по вісі факелу

Для того щоб розрахувати приземну концентрацію забруднюючих речовин, необхідно мати метеорологічні характеристики і коефіцієнти, що визначають умови розсіювання забруднюючих речовин в атмосфері: швидкість вітру, температуру атмосфери і температуру викидів, топографічні коефіцієнти, А коефіцієнти залежать від стратифікації атмосфери. Характеристики і коефіцієнти мірі ваг наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Метеорологічні характеристики та коефіцієнти, які визначають умови розсіювання забруднюючих речовин в атмосфері

Назва характеристик	Показник
Коефіцієнт, який залежить від стратифікації атмосфери А	200
Коефіцієнт рельєфу місцевості міста $\eta$	1
Середня максимальна температура зовнішнього повітря найбільш теплого місяця року $T_1, ^\circ\text{C}$	+ 19,5
Середня максимальна температура зовнішнього повітря найбільш холодного місяця року $T_2, ^\circ\text{C}$	-5
Швидкість вітру, що повторюється, перевищення якої складає 5 % $u, \text{ м/с}$	9

Доцільність проведення розрахунків розсіювання проводиться за формулами:

$$M/ГДК > 0,01 \text{ при } H > 10 \text{ м,} \quad (5.1)$$

$$M/ГДК > 0,1 \text{ при } H < 10 \text{ м,} \quad (5.2)$$

де  $M$  – сумарне значення викиду від усіх джерел підприємства, г/с;

ГДК – максимально гранична допустима концентрація, мг/м<sup>3</sup>;

$H$  – середня встановлена по підприємству висота джерела викидів, м.

Забруднюючі речовини, для яких визначена доцільність проведення розрахунків розсіювання в приземному шарі атмосферного повітря, представлені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Перелік речовин, для яких визначена доцільність проведення розрахунків розсіювання

Назва речовини	Фактичні викиди речовини, г/с	ГДК <sub>м.р.</sub> , мг/м <sup>3</sup>	М/ГДК
Нітроген (IV) оксид	5,243	0,06	87,5
Сульфур (IV) оксид	79,89	0,5	159,8
Карбон (II) оксид	2,82	5,0	0,56
Манган та його сполуки	0,00016	0,01	0,016
Амоніак	0,49	0,2	2,45
Ксилол	0,032	0,2	0,16
Зола	0,049	0,3	0,16
Кальцію оксид	0,397	0,05	7,94
Кальцію карбонат	0,1304	0,05	2,6
Пил вугільний	0,09	0,11	0,82

Майданчик, на якому проводиться розрахунок розсіювання концентрації шкідливих речовин в приземному шарі атмосферного повітря, зокрема оксиду

нітрогену (IV) має розміри: 4600 м в ширину і 4600 м в довжину. Крок сітки, яка розбиває майданчик 1150 м.

Розрахунок приземної концентрації та побудову карти розсіювання концентрацій забруднюючих речовин було проведено як для викидів оксиду нітрогену (IV) так і для викидів оксиду карбону (II) від стаціонарного джерела заводу № 23 – ТЕЦ і джерела № 1 – відділу сокоочистки. Майданчик, для розрахунку розсіювання оксиду карбону (II) в приземному шарі атмосферного повітря, має розміри: 2600 м в ширину і 2600 м в довжину. Крок сітки, яка розбиває майданчик 300 м.

Вихідні дані для розрахунків приземної концентрації NO<sub>2</sub> наведено в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Вихідні дані для розрахунку приземної концентрації NO<sub>2</sub>

Параметри джерела викиду	Показник
Висота джерела викиду над рівнем землі H, м	75
Діаметр устя джерела викиду D, м	2,6
Витрата газоповітряної суміші V, м <sup>3</sup> /с	22,2
Температура газоповітряної суміші T, °C	130
Викид NO <sub>2</sub> , г/с	4,51

Розраховуємо максимальне значення приземної концентрації оксиду нітрогену (IV) C<sub>1</sub> при викиді газоповітряної суміші з одиничного точкового джерела з круглим устям, що досягається при несприятливих метеорологічних умовах на відстані x<sub>м</sub> від джерела за формулою [18]:

$$C_1 = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}}, \quad (5.3)$$

де  $A$  – коефіцієнт, що залежить від температурної стратифікації атмосфери;

$F$  – безрозмірний коефіцієнт, що враховує швидкість осідання забруднюючих речовин в атмосферному повітрі,  $F=1$  для газів та мілкодисперсних аерозолів;

$m, n$  – коефіцієнти, що враховують умови виходу газоповітряної суміші з устя джерела викиду;

$\eta$  – безрозмірний коефіцієнт, що враховує вплив рельєфу місцевості;

$\Delta T$  (°C) – різниця між температурою газоповітряної суміші та температурою навколишнього середовища.

Розраховуємо середню швидкість виходу газоповітряної суміші з устя джерела викиду за формулою:

$$\omega_0 = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D^2} \quad (5.4)$$

де  $\omega_0$  – середня швидкість виходу газоповітряної суміші, м/с;

$V$  – витрата газоповітряної суміші, м<sup>3</sup>/с;

$D$  – діаметр устя джерела викиду, м.

Отже середня швидкість виходу газоповітряної суміші з устя джерела викиду становить:

$$\omega_0 = 4,181(\text{м/с})..$$

Для визначення коефіцієнтів  $m$  і  $n$  розраховуємо коефіцієнти  $f, v_1, v_2, f_0$  за формулами:

$$f = \frac{1000 \cdot \omega_0^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T} ; \quad (5.5)$$

$$f = 0,073 ;$$

$$\nu_1 = 0.65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V \cdot \Delta T}{H}} ; \quad (5.6)$$

$$\nu_1 = 2,079 ;$$

$$\nu_2 = 1.3 \cdot \frac{\omega_0 \cdot D}{H} ; \quad (5.7)$$

$$\nu_2 = 0,188 ;$$

$$f_0 = 800 \cdot (\nu_2)^3 ; \quad (5.8)$$

$$f_0 = 5,353 .$$

Оскільки  $f \leq 100$ , коефіцієнт  $m$  визначається за формулою:

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{f} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f}} ; \quad (5.9)$$

$$m = 0,668 .$$

Коефіцієнт  $n$  у випадку  $f \leq 100$  та при  $0,5 \leq \nu_1 \leq 2$  визначається за формулою:

$$n = 0,532(\nu_1)^3 - 2,13 \cdot \nu_1 + 3,13 ; \quad (5.10)$$

$$n = 1,402 .$$

Отже, максимальне значення приземної концентрації  $\text{NO}_2$  при викиді газоповітряної суміші з одиничного точкового джерела з круглим устям, що досягається при несприятливих метеорологічних умовах становить:

$$C_1 = 0,0079 (\text{мг} / \text{м}^3) .$$

Розраховуємо відстань до джерела викиду  $x_1$ , при якому приземна концентрація досягає максимального значення  $C_2$  при несприятливих метеорологічних умовах за формулою:

$$x_1 = d \cdot H \cdot \frac{5-F}{4}, \quad (5.11)$$

де  $d$  – безрозмірний коефіцієнт, що при  $f < 100$  та при  $0,5 < v < 2$ .

$d$  визначається за формулою:

$$d = 4,95 \cdot v_1 \cdot (1 + 0,283\sqrt{f_0}); \quad (5.12)$$

$$d = 15,33.$$

Отже, відстань до джерела викиду, при якому приземна концентрація досягає максимального значення при несприятливих метеорологічних умовах становить:

$$x_1 = 1150(\text{м}).$$

Значення небезпечної швидкості вітру  $u_1$  на рівні флюгера ( $\approx 10$  м над рівнем землі), при якій досягається найбільше значення приземної концентрації при  $0,5 \leq v_1 \leq 2$  визначається за формулою:

$$u_1 = v_1 \cdot (1 + 0,12 \cdot \sqrt{f}); \quad (5.13)$$

$$u_1 = 2,656(\text{м/с}).$$

Розраховуємо максимальне значення приземної концентрації  $C_2$  при несприятливих метеорологічних умовах та швидкості вітру  $u$  за формулою:

$$C_2 = r \cdot C_1, \quad (5.14)$$

де  $r$  – безрозмірний коефіцієнт, визначається в залежності від співвідношення швидкості вітру в навколишньому середовищі до максимальної швидкості вітру ( $u / u_1$ ).

При  $(u / u_1) < 1$   $r$  розраховується за формулою:

$$r = 0,67 \cdot \frac{u}{u_1} + 1,67 \cdot \left(\frac{u}{u_1}\right)^2 - 1,34 \cdot \left(\frac{u}{u_1}\right)^3; \quad (5.15)$$

$$r = 0,176.$$

Отже, приземна концентрація в залежності від швидкості вітру  $u$  приймає значення:

$$C_2 = 0,00114(\text{мг} / \text{м}^3).$$

Розраховуємо відстань від джерела викиду  $x_2$ , на якій при швидкості вітру  $u$  та несприятливих метеорологічних умовах приземна концентрація забруднюючих речовин досягає максимального значення за формулою:

$$x_2 = p \cdot x_1, \quad (5.16)$$

де  $p$  – безрозмірний коефіцієнт, який визначається в залежності від співвідношення швидкості вітру в навколишньому середовищі до максимальної швидкості вітру ( $u / u_1$ ).

При  $(u / u_1) < 1$   $p$  розраховується за формулою:

$$p = 8,43 \cdot \left(1 - \frac{u}{u_1}\right)^5 + 1; \quad (5.17)$$

$$p = 3,976.$$

Отже, відстань від джерела викиду, на якій при швидкості вітру  $u$  та несприятливих метеорологічних умовах приземна концентрація забруднюючих речовин досягає максимального значення, становить:

$$x_2 = 4,571 \cdot 10^3 (\text{м}).$$

Розраховуємо приземну концентрацію забруднюючих речовин в атмосфері по осі факелу на різних відстанях від джерела викиду:

$$C = S_1 \cdot C_1, \quad (5.18)$$

де  $C$  – приземна концентрація забруднюючих речовин по осі факелу на різних відстанях від джерела викиду,  $\text{мг/м}^3$ ;

$S_1$  – безрозмірний коефіцієнт, який визначається в залежності від співвідношення  $x / x_1$  і коефіцієнта  $F$ .

При  $x / x_1 \leq 1$   $S_1$  визначається за формулою:

$$S_1 = 3 \cdot \frac{x}{x_1} - 8 \cdot \left( \frac{x}{x_1} \right)^2 + 6 \cdot \left( \frac{x}{x_1} \right)^3. \quad (5.19)$$

При  $1 < x / x_1 \leq 8$   $S_1$  визначається за формулою:

$$S_1 = \frac{1,13}{0,13 \cdot \left( \frac{x}{x_1} \right)^2 + 1}. \quad (5.20)$$

Розрахунок приземної концентрації оксиду нітрогену (IV) в атмосфері по осі факелу на різних відстанях від джерела викиду проводимо за формулами 5.18 – 5.20.

$$x = \begin{pmatrix} 300 \\ 700 \\ 1000 \\ 1150 \\ 1350 \\ 1500 \\ 1700 \end{pmatrix} \quad \frac{x}{x_1} = \begin{pmatrix} 0,261 \\ 0,609 \\ 0,87 \\ 1 \\ 1,174 \\ 1,304 \\ 1,478 \end{pmatrix} \quad S_1 = \begin{pmatrix} 0,28 \\ 0,831 \\ 0,992 \\ 1 \\ 0,958 \\ 0,925 \\ 0,88 \end{pmatrix} \quad C = \begin{pmatrix} 2,225 \cdot 10^{-3} \\ 6,604 \cdot 10^{-3} \\ 7,884 \cdot 10^{-3} \\ 7,947 \cdot 10^{-3} \\ 7,613 \cdot 10^{-3} \\ 7,351 \cdot 10^{-3} \\ 6,993 \cdot 10^{-3} \end{pmatrix}.$$

На рисунку 5.1 зображена залежність приземної концентрації оксиду нітрогену (IV) від відстані до джерела викиду.

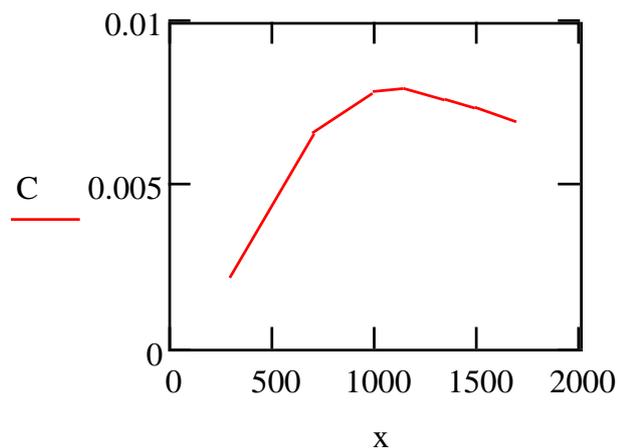


Рисунок 5.1 – Залежність приземної концентрації забруднюючих речовин від відстані до джерела викиду

## 5.2 Побудова карти розсіювання концентрацій забруднюючих речовин

Побудова карти розсіювання забруднюючих речовин здійснюється з використанням програми ОВД-86.

Параметри джерела викиду наведені в таблиці 5.3. Координати джерела викиду на карті розсіювання  $X = 3270$  м,  $Y = 2985$  м.

Карта розсіювання оксиду нітрогену (IV) від стаціонарного джерела № 23 зображена на рисунку 5.2.

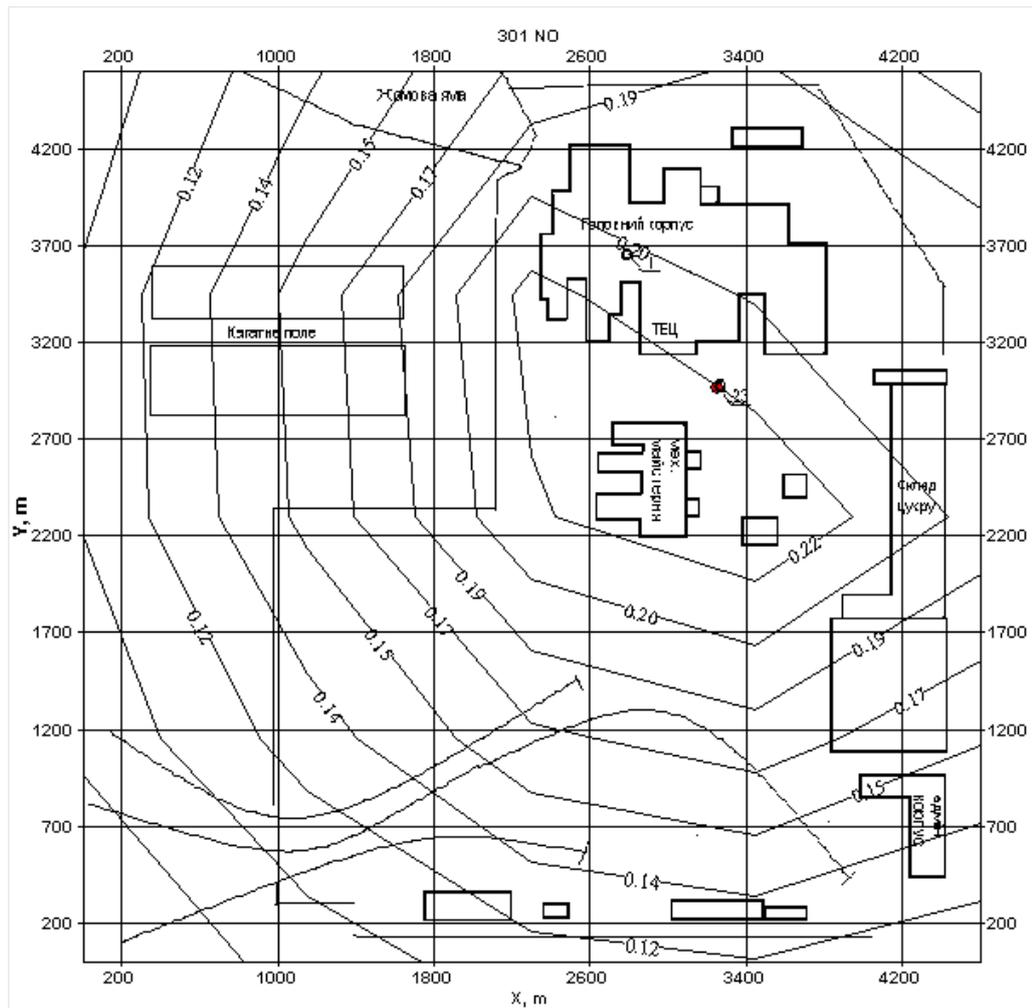


Рисунок 5.2 – Карта розсіювання оксиду нітрогену (IV)

Максимальна концентрація  $\text{NO}_2$  (0,2329 ГДК) досягається в точці з координатами  $X = 3450$  м і  $Y = 2300$  м, що знаходиться на території підприємства. Концентрація  $\text{NO}_2$  в приземному шарі на межі санітарно-захисної зони та за її межами не перевищує ГДК.

Аналогічно розраховано приземну концентрацію CO та побудовано карту розсіювання. Максимальна концентрація CO (0,2552 ГДК) досягається в точці з координатами  $X = 1444,44$  м і  $Y = 2022,22$  м, що знаходиться на території підприємства. Концентрація CO в приземному шарі на межі санітарно-захисної зони та за її межами також не перевищує ГДК. Карта розсіювання оксиду

карбону (II) від стаціонарного джерела № 1 (відділ сокоочистки) зображена на рисунку В.1 (додаток В).

Забруднення приземного шару атмосфери, викликане викидами підприємств, багато в чому залежить від погодних умов. У період, коли погодні умови сприяють накопиченню шкідливих речовин в приземних шарах атмосфери, концентрація домішок в повітрі може різко зрости. Максимальна концентрація встановлюється на певній відстані від джерела викидів за умови, що середньо зважена небезпечна швидкість вітру становить 0,5 м/с.

## 6 ЗАХОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ЦУКРОВОГО ВИРОБНИЦТВА

ПАТ «Крижопільський цукровий завод» знаходиться в межах населеного пункту, тому впливає на якість повітря і стан здоров'я населення. Для підвищення екологічної безпеки цукрового виробництва пропонується впровадити заходи щодо зниження впливу на навколишнє середовище.

1. Однією з основних причин викидів забруднюючих речовин на підприємствах є ТЕЦ. Для поліпшення екологічної ситуації в регіоні і зниження витрати палива необхідно регулярно проводити пусконаладжувальні роботи.

2. У разі виникнення несприятливих погодних умов, які можуть призвести до небезпечного підвищення концентрації забруднюючих речовин в атмосфері, необхідно вжити заходів щодо зниження викидів шкідливих речовин в атмосферу.

Перелік заходів щодо зниження викидів забруднюючих речовин в атмосферу при несприятливих погодних умовах:

- посилити контроль за правильним дотриманням технічних регламентів виробництва;
- заборонити продування і миття обладнання, ємностей, в яких зберігаються забруднюючі речовини;
- використовувати запаси високоякісної сировини, що забезпечують зниження викидів шкідливих речовин;
- посилити контроль за роботою контрольно-вимірювального обладнання;
- обмежити вантажно-розвантажувальні роботи, пов'язані з виділенням шкідливих речовин;
- знизити продуктивність технічного обладнання, пов'язану з підвищеним виділенням шкідливих речовин;
- обмежити використання автомобілів та інших пересувних джерел викидів на території підприємства;
- ми забороняємо спалювання промислових відходів і сміття.

3. Систематично стежити за станом атмосфери на кордонах санітарно-захисних зон.

4. Оскільки підприємство межує з житловими будинками, найкоротша відстань становить 300 м з розрахунку 250 м, і на території підприємства проводяться роботи з благоустрою. Зелені насадження поглинають токсичні гази, тим самим покращуючи якість повітря.

5. Посилити контроль якості надходить сировини і поліпшити умови зберігання коренеплодів. Переробка високоякісної сировини скорочує викиди і відходи, а також знижує вартість енергоресурсів.

Для підвищення рівня екологічної безпеки ПАТ «Крижопільський цукровий завод», збільшення потужності переробки та підвищення якості виробленого цукру було розпочато його масштабну модернізацію, яка включає:

1. Реконструкцію мийного відділення, продуктового цеху і введення в експлуатацію вертикальних мішалок-кристалізаторів.
2. Для збільшення енергоефективності та продуктивності заводу до 8000 т буряків на добу, на підприємстві було реконструйовано жомосушильне відділення, замінено жомопреси на преси глибокого віджиму, замінено фільтри транспортерно-мийної води.
3. Реалізовано проект переведення парових котлів з природного газу на вугілля. Реалізація цього проекту дозволила значно знизити вартість технологічного пару та оптимізувати собівартість продукції.
4. На підприємстві вдосконалили теплову схему, провадили заходи із збереження електроенергії.
5. З 2018 року на Крижопільському цукровому заводі встановлено нову станцію контрольної фільтрації соку; нову центрифугу II продукту, модернізовано фільтри соку II сатурації.
6. На ПАТ «Крижопільський цукровий завод» реалізовано безпрецедентний для України проект модернізації технологічної схеми зі встановленням нової станції декальцинації соку шляхом іонообміну.

7. ПАТ «Крижопільський цукровий завод» сертифіковано на відповідність стандарту ISO:9001.

Скорочення димових газів котлоагрегатів ПАТ «Крижопільський цукровий завод» можна досягнути за рахунок підвищення енергоефективності і скорочення розмірів втрат теплової енергії в процесі згорання за рахунок зниження температури димових газів, що викидаються в атмосферу. Це може бути досягнуто шляхом:

- підбору оптимальних розмірів та інших характеристик устаткування виходячи із необхідної максимальної потужності з урахуванням розрахункового запасу надійності;

- інтенсифікації передачі тепла технологічному процесу у вигляді збільшення питомого потоку тепла, збільшення площі або вдосконалення поверхонь теплообміну;

- рекуперації тепла димових газів з допомогою додаткового технологічного процесу (наприклад, виробництва пари);

- підігрівання повітря або води, або організації попереднього підігріву палива за рахунок тепла димових газів. Підігріта вода може використовуватись в системах гарячого водопостачання або централізованого опалення;

- очищення поверхонь теплообміну від накопичувальної золи і частинок вуглецю із метою підтримання високої теплопровідності. Очистка поверхонь теплообміну в зоні горіння, як правило, здійснюється під час зупинки обладнання для огляду і ТО;

- забезпечення рівня виробництва тепла, відповідного існуючим потребам. Тепловою потужність котла можна регулювати, за рахунок підбору кількості необхідного палива.

Перераховані вище рекомендації (за винятком періодичної очистки) потребують додаткових інвестицій. Термін окупності може перебуває у діапазоні від п'яти до десяти років, залежно від багатьох параметрів, включаючи розмір установки, температуру димових газів тощо.

## **7 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РЕСУРСОЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ЗАХОДІВ**

Цукрова промисловість одна із багатьох, яка потребує впровадження енергозберігаючих технологій на своїх підприємствах. Основними енергомісткими процесами при виробництві цукру є згущування дифузійного соку випаровування, де застосовуються випарні установки, та варіння, кристалізація і центрифугування утфелів. Енергозбереження або впровадження нових технологій, які потребують менших затрат енергії, мають стати основним орієнтирами подальшого розвитку промисловості в теперішніх умовах економіки.

На ПАТ «Крижопільський цукровий завод» основним видами палива є природний газ, вугілля та мазут. В умовах економічної кризи пропонується перевести підприємство на використання енергії добутої з альтернативних джерел. Основними такими джерелами є вітер і сонце, тобто встановлення сонячних панелей та вітроустановок.

### **7.1 Розрахунок необхідної площі сонячних панелей для повного заміщення органічного палива на підприємстві**

Розрахунок необхідної площі сонячних панелей, які потрібно встановити на території ПАТ «Крижопільський цукровий завод» для повного заміщення органічного палива проводиться за формулою:

$$S = \frac{E}{E_c}, \quad (7.1)$$

де  $S$  - площа сонячних панелей, які потрібно встановити для повного заміщення органічного палива,  $m^2$ ;

$E$  - кількість енергії, яка виділяється при спалюванні всієї кількості палива, МДж;

$E_C$  - потенційна кількість енергії, яку можна отримати з  $1 \text{ м}^2$  сонячної панелі за 1 рік, МДж/м<sup>2</sup>.

Потенційну кількість енергії  $E_C$ , яку можна отримати з  $1 \text{ м}^2$  сонячної панелі за 1 рік із врахуванням сумарного річного потенціалу для Вінницької області та ефективності сонячної панелі розраховують за формулою:

$$E_C = P_C \cdot \frac{q}{100\%}, \quad (7.2)$$

де  $P_C$  – сумарний річний потенціал сонячної енергії, МДж/м<sup>2</sup>;

$q$  – ефективність сонячної панелі, %.

Дані для розрахунків:  $P_C = 4200 \text{ МДж/м}^2$ ;  $q = 24 \%$ .

Отже,  $E_C$  становить:

$$E_C = 4200 (24/100) = 1008 \text{ (МДж/м}^2\text{)}.$$

Кількість енергії, яка виділяється при спалюванні всієї кількості палива  $E$ , розраховується за формулою 7.3:

$$E = N \cdot n, \quad (7.3)$$

де  $N$  - загальна кількість палива, т. ум. п.;

$n$  – кількість енергії, яка виділяється при спалюванні 1 т умовного палива, МДж/т ( $n = 30000 \text{ МДж/т}$ ).

Загальна кількість палива  $N$  розраховується як сума мас різних видів палива, приведених до умовного палива:

$$N = N_{\text{вуг}} + 1,26 \cdot N_{\text{пр.г.}} + 1,3 \cdot N_{\text{маз}} + 1,43 \cdot N_{\text{наф}}, \quad (7.4)$$

де  $N_{\text{вуг}}$  – маса вугілля, яке використовується на підприємстві за 1 рік, т;

$N_{\text{пр.г.}}$  – об'єм природного газу, який використовується на підприємстві за 1 рік, м<sup>3</sup>;

$N_{\text{наф}}$  – маса нафти, яка використовується на підприємстві за 1 рік, т;

$N_{\text{маз}}$  – маса мазуту, який використовується на підприємстві за 1 рік, т;

Дані для розрахунків:  $N_{\text{вуг}} = 2$  т.;  $N_{\text{пр.г.}} = 15000$  м<sup>3</sup>;  $N_{\text{маз}} = 500$  т.;  $N_{\text{наф}} = 0$

Отже, загальна кількість палива, яка використовується ПАТ «Крижопільський цукровий завод»:

$$N = 2 + (15 \cdot 1,26) + (500 \cdot 1,3) = 670,9 \text{ (т. ум. п.)}$$

Отже, згідно формули 7.3, кількість енергії, яка виділяється при спалюванні всієї кількості палива на підприємстві становить:

$$E = 670,9 \cdot 30000 = 20127000 \text{ (МДж)}$$

Тоді, необхідна площа сонячних панелей для повного заміщення органічного палива на підприємстві становить:

$$S = 20127000 / 1008 = 19967,26 \text{ (м}^2\text{)}$$

## **7.2 Розрахунок кількості вітроустановок, необхідних для повного заміщення органічного палива на підприємстві**

Розрахунок кількості вітроустановок  $k$ , необхідних для повного заміщення органічного палива ПАТ «Крижопільський цукровий завод» проводиться за формулою:

$$k = \frac{E}{L}, \quad (7.5)$$

де  $E$  - кількість енергії, яка виділяється при спалюванні всієї кількості палива, МДж;

$L$  – кількість енергії, яка виробляється однією вітроустановкою за 1 рік, МДж.

$L$  розраховується згідно формули:

$$L = 3,6 \cdot P \cdot t, \quad (7.6)$$

де  $P$  – потужність вітроустановки, кВт·год;

$t$  – кількість годин в році, протягом яких ефективно працює вітроустановка.

Дані для розрахунків:  $P = 100$  кВт·год;  $t = 2000$  год.

Отже, за формулою 7.6:

$$L = 3,6 \cdot 100 \cdot 2000 = 720000 \text{ (МДж)}.$$

Тоді  $k$ , з формули 7.5, буде:

$$k = 20127000/720000 = 28 \text{ (шт.)}.$$

Розрахунок кількості вітроустановок  $k$ , необхідних для повного заміщення органічного палива на підприємстві проводиться за формулою:

$$k = \frac{E}{L}, \quad (7.7)$$

де  $E$  – кількість енергії, яка виділяється при спалюванні всієї кількості палива, МДж;

$L$  – кількість енергії, яка виробляється однією вітроустановкою за 1 рік, МДж.  $L$  розраховується згідно формули:

$$L = 3,6 \cdot P \cdot t, \quad (7.8)$$

де  $P$  – потужність вітроустановки, кВт·год;

$t$  – кількість годин в році, протягом яких ефективно працює вітроустановка.

Дані для розрахунків:  $P = 100$  кВт·год;  $t = 2000$  год.

Отже, за формулою 7.8:

$$L = 3,6 \cdot 100 \cdot 2000 = 720000 \text{ (МДж)}.$$

Тоді  $k$ , з формули 7.7, буде:

$$k = 20127000/720000 = 28 \text{ (шт.)}.$$

### **7.3 Розрахунок чистого доходу від впровадження енергозберігаючих заходів на підприємстві**

Розрахунок чистого доходу від впровадження енергозберігаючих заходів на ПАТ «Крижопільський цукровий завод» проводиться у вигляді використання вітроустановок, потужністю 100 кВт·год кожна, і сонячних панелей

Чистий дохід (ЧД) від впровадження природоохоронних і ресурсозберігаючих заходів на ПАТ «Крижопільський цукровий завод» розраховується за формулою:

$$\text{ЧД} = i \cdot (B_{en} + P_6 + P_3) - K_t, \quad (7.9)$$

де  $B_{en}$  – вартість традиційного палива, грн./рік;

$P_B$  – плата за викиди забруднювальних речовин в навколишнє середовище, грн./рік;

$P_3$  – плата за нанесену шкоду здоров'ю населення, грн./рік;

$K_t$  – капіталовкладення в природоохоронні і ресурсозберігаючі заходи, грн.;

$i$  – термін впровадження природоохоронних і ресурсозберігаючих заходів, років.

Розрахунок вартості традиційного палива на підприємстві  $B_{en}$  проводиться за формулою:

$$B_{en} = w_{вуг} \cdot N_{вуг} + w_{пр.г.} \cdot N_{пр.г.} + w_{маз} \cdot N_{маз} + w_{наф} \cdot N_{наф}, \quad (7.10)$$

де  $w$  – вартість палива, грн;

$N_{вуг}$  – маса вугілля, яке використовується на підприємстві за 1 рік, т;

$N_{пр.г.}$  – об'єм природного газу, який використовується на підприємстві за 1 рік,  $m^3$ ;

$N_{наф}$  – маса нафти, яка використовується на підприємстві за 1 рік, т;

$N_{маз}$  – маса мазуту, який використовується на підприємстві за 1 рік, т;

Дані для розрахунку вартості традиційного палива на підприємстві:

$w$  (1  $m^3$  газу) – 2,8 грн.;  $w$  (1 т вугілля) – 900 грн.;  $w$  (1 т мазуту) – 3700 грн.;

$N_{вуг} = 2$  т.;  $N_{пр.г.} = 15000$   $m^3$ ;  $N_{маз} = 500$  т.;  $N_{наф} = 0$

Отже, за формулою 7.10:

$$B_{en} = (900 \cdot 2) + (2,8 \cdot 15000) + (3700 \cdot 500) = 1934000 \text{ (грн./рік)}.$$

Плата за викиди забруднювальних речовин в навколишнє середовище  $P_B$  розраховується за формулою [12-17]:

$$P_B = \sum_{i=1}^n (M_i \cdot H\delta_i \cdot K_{нас} \cdot K_{\phi}), \quad (7.11)$$

де  $M_i$  – обсяг викиду забруднювальної речовини, т;

$N_{bi}$  – норматив збору за тонну  $i$ -ої забруднюючої речовини, грн/т., наведений у таблиці 7.1.

$K_{нас}$  – коригувальний коефіцієнт, який враховує чисельність жителів населеного пункту, наведений в таблиці 7.2;

$K_{ф}$  – коригувальний коефіцієнт, який враховує народногосподарське значення населеного пункту, наведений в таблиці 7.3;

Таблиця 7.1 - Нормативи збору за викид забруднюючих речовини в повітря

Назва забруднюючої речовини	Норматив збору, грн/т
Азоту оксиди	80
Аміак	15
Ангідрид сірчистий	80
Вуглецю окис	3
Вуглеводні	4,5
Тверді речовини	3

Таблиця 7.2 - Коригувальний коефіцієнт  $K_{нас}$ , який враховує чисельність жителів населеного пункту

Чисельність населення, тис.чол.	Коефіцієнт
$\leq 100$	1
100,1-250	1,2
250,1-500	1,35
500,1-1000	1,55
$> 1000$	1,8

Таблиця 7.3 - Значення коригувального коефіцієнта, взаємності від народногосподарського значення населеного пункту

Тип населеного пункту	Коефіцієнт
Організаційно-господарські та культурно-побутові центри місцевого значення з перевагою аграрно-промислових функцій (райцентри, міста районного значення, селища та села)	1
Багатофункціональні центри, центри з перевагою промислових і транспортних функцій (республіканські та обласні центри, міста державного, республіканського, обласного значення)	1,25
Населені пункти, віднесені до рекреаційних і курортних	1,65

Обсяги викидів забруднюючих речовин на ПрАТ «Крижопільський цукровий завод» становлять:  $M_{\text{NO}_2} = 47,96$  т.;  $M_{\text{SO}_2} = 34,3$  т.;  $M_{\text{NH}_3} = 5,1$  т.;  $M_{\text{CO}} = 178,58$  т.;  $M_{\text{вугл.}} = 3,67$  т.;  $M_{\text{тв.р}} = 0,215$ . Отже за формулою 7.9:

$$P_{\text{в}} = (80 \cdot 47,96) + (80 \cdot 34,3) + (15 \cdot 5,1) + (3 \cdot 178,58) + (4,5 \cdot 3,67) + (3 \cdot 0,215) = 7210,2 \text{ (грн./рік)}.$$

Для розрахунку чистого доходу, за формулою 7.9 плату за нанесену шкоду здоров'ю населення приймаємо рівним 1000 грн./рік. При нормативному терміні експлуатації обладнання 10 років собівартість 1 кВт·год виробленої енергії вітровими установками в середньому становить 5000 грн. на і 20 000 грн. на 1 кВт·год виробленої енергії сонячними панелями. Отже  $K_t$  для вітрових установок буде становити:

$$K_t = 5000 \cdot 100 \cdot 28 = 14000000 \text{ (грн.)}.$$

З 1 м<sup>2</sup> сонячних панелей можна отримати 1008 МДж енергії це становить 0,03 кВт·год, отже з загальної площі сонячних панелів 19967,26 м<sup>2</sup> можна отримати 638,2 кВт·год енергії. Тоді  $K_t$  для сонячних панелей буде:

$$K_t = 20000 \cdot 638,2 = 12764458,5 \text{ (грн.)}.$$

Тоді згідно формули 7.9 чистий дохід, від використання вітрових установок буде становити:

$$\text{ЧД} = 10 \cdot (1934000 + 7210,2 + 1000) - 14000000 = 5422102 \text{ (грн.)}.$$

Чистий дохід, від використання сонячних панелей становить:

$$\text{ЧД} = 10 \cdot (1934000 + 7210,2 + 1000) - 12764458,5 = 6657643,5 \text{ (грн.)}$$

Термін окупності (ТО) витрат на впровадження природоохоронних та ресурсозберігаючих заходів розраховується за формулою:

$$TO = \frac{K_t}{\text{ЧД}} \quad (7.12)$$

Отже за формулою 7.12 термін окупності для вітроустановок та сонячних панелей, відповідно, буде становити:

$$TO = \frac{14000000}{5422102} = 2,58 \approx 3 \text{ (р.)}$$

$$TO = \frac{12764458,5}{6657643,5} = 1,9 \approx 2 \text{ (р.)}$$

Оскільки нормативний термін окупності витрат на встановлення вітроустановок або сонячних панелей становить 3 – 5 років, то впровадження даних альтернативних джерел енергії є економічно доцільним. Так як показник ТО для сонячних панелей є менший ніж для вітрових установок, то їх встановлення є більш вигідним.

## ВИСНОВКИ

Основними технологічними процесами, що призводять до забруднення атмосфери при виробництві цукру є сатурація і сульфитація соку, сиропу та води, згущення сиропу та кристалізація цукру, випалювання та гасіння вапняку, енергозабезпечення.

В магістерській кваліфікаційній роботі на прикладі діяльності ПАТ «Крижопільський цукровий завод» досліджено вплив цукрового виробництва на навколишнє природне середовище.

У першому розділі магістерської кваліфікаційної роботи проаналізовано сучасний стан цукрової галузі України. Цукробурякове виробництво в нашій державі перетворилося з експортно-стратегічної галузі економіки на дотаційну. Основними причинами є деформація сировинних зон, багаторазова зміна власників, загальна деградація матеріально-технічної бази галузі.

У другому розділі проаналізована типова технологічна схема виробництва цукру, визначені основні джерела утворення твердих відходів, газових викидів та рідких стоків.

У третьому розділі розглянуті шляхи утилізації побічних продуктів та відходів цукрового виробництва.

У четвертому розділі на основі технічної документації ПАТ «Крижопільський цукровий завод» проаналізовано технологічний процес виготовлення цукру, досліджено джерела утворення забруднюючих речовин.

Проведено розрахунок викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря та визначено доцільність проведення моделювання розсіювання забруднюючих речовин в атмосфері.

У п'ятому розділі здійснено моделювання розсіювання оксиду нітрогену (IV) та оксиду карбону (II) в приземному шарі атмосферного повітря та побудовано карти розсіювання цих забруднюючих.

У шостому розділі розроблено заходи, спрямовані на підвищення екологічної безпеки виробництва цукру.

У цьому розділі розрахована економічна ефективність ресурсоенергозберігаючих заходів, спрямованих на підвищення екологічної безпеки діяльності ПАТ «Крижопільський цукровий завод».

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Національної асоціації цукровиків України (НАЦУ) "Укрцукор". ПрАТ «Продовольча компанія «Поділля» (ПАТ «Крижопільський цукровий завод») URI: <http://ukrsugar.com/uk/ecm/factory/view/14>
2. Цукрова галузь України в цифрах. // Національна асоціація цукровиків України. – 2019. – С. 20–29.
3. «Збірник показників емісії (питомих викидів) забруднюючих речовин в атмосферне повітря різними виробництвами», т 1, т 2, т 3. УНЦТЕ, Донецьк, 2010. «Збірник показників емісії (питомих викидів) забруднюючих речовин в атмосферне повітря різними виробництвами», т 1, т 2, т 3. УНЦТЕ, Донецьк, 2010.
4. ДСТУ 4623:2006 Цукор білий. Технічні умови – Київ: Держспоживстандарт України, 2007. – 18 с.
5. Про затвердження Інструкції про зміст та порядок складання звіту проведення інвентаризації викидів забруднюючих речовин на підприємстві від 10.02.95 № 7 // Зареєстровано в Міністерстві юстиції України. – 15.03.1995 р. – № 61/597.
6. Запольський А. К., Українець А.І. Екологізація харчових продуктів. – К.: Вища школа, 2005. – 423 с.
7. Домарецький В. А., Златєв Т. П. Екологія харчових продуктів. – К: Урожай, 1993. – 192 с.
8. Чайка О. Г. Аналіз відходів цукрового виробництва, їх негативний вплив на довкілля / О Г. Чайка, І. М. Петрушка // Цукор України, 2014. – № 3(99). – С. 37–38.
9. Хомічак Л. Передові технології виробництва цукру // Харчова і переробна промисловість: Щомісячний науково-виробничий журнал Жержпрому, Нац.університет харчових технологій та ТОВ «Укроагропак». – К.: 2007. - №4. – С. 20-23.

10. Мелетьєв А.Є. Технохімічний контроль виробництва солоду, пива і безалкогольних напоїв / Мелетьєв А.Є., Тодосійчук С.Р., Кошова В.М.: за ред. А.Є.Мелетьєва. (Підручник). – Вінниця : Нова Книга, 2007. – 392 с.
11. Борисюк П. Г. Стан і завдання бурякоцукрової галузі України // Цукор України, 2003. – № 4 – 5 (34). – С. 2 – 4.
12. Ярчук М. М. Шляхи підвищення ефективності бурякоцукрового виробництва України // Цукор України. – 2003. – № 2 (32). – С. 2 – 5.
13. Борисюк П. Г. Підсумки роботи бурякоцукрової галузі України у 2023 р. та завдання на 2024 р. // Цукор України. – 2023. – № 6. – С. 2 – 5.
14. Запольський А. К., Українець А.І. Екологізація харчових продуктів. – К.: Вища школа, 2005. – 423 с.
15. Домарецький В. А., Златєв Т. П. Екологія харчових продуктів. – К: Урожай, 1993. – 192 с.
16. Пономарьов П. Х., Сирохман І. В. Безпека харчових продуктів та продовольчої сировини. – К: Лібра, 1999. – 272 с.
17. Ковальчук П. І. Моделювання і прогнозування навколишнього середовища: Навч. посіб. – К.: Либідь, 2003
18. Нагорна В.О. Якість буряків. Оптимальні режими переробки буряків різної якості. К. : ІПК Мінагропрому України. - 1998. - 70 с.
19. Методичні положення та норми продуктивності на виробництво цукру [Текст] / В. В. Вітвіцький [та ін.]; Український НДІ продуктивності агропромислового комплексу. - К. : НДІ "Укראгропромпродуктивність", 2008. - 263 с.
20. Васильківський І. В., Тітов Т. С., Сидорук Т. І., Кузнець І. О. Екологічна безпека відходів Крижопільського цукрового заводу // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції: «Енергоефективність в галузях економіки України (2025)», Вінниця, 19-21 листопада 2025 р. Електрон. текст. дані. 2025. URI: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2025/paper/viewFile/26551/21857>

21. Васильківський І. В., Тітов Т. С., Сидорук Т. І., Кузнець І. О. Екологічна безпека відходів Крижопільського цукрового заводу // Міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2026)», Вінниця, 15-16 червня 2026 р. Електрон. текст. дані. 2025. URI: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2026/paper/viewFile/26266/21859>

## Додаток А.

## ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Наукове обґрунтування екологічної безпеки Приватного акціонерного товариства «Крижопільський цукровий завод»

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота

Підрозділ кафедра екології, хімії та технологій захисту довкілля  
(кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism 4,74 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

- Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту
- У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.
- У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

зав. каф. ЕХТЗД, проф. Іщенко В.А.  
(прізвище, ініціали, посада)

(підпис)

доц. каф. ЕХТЗД Васильківський І.В.  
(прізвище, ініціали, посада)

(підпис)

Особа, відповідальна за перевірку   
(підпис)

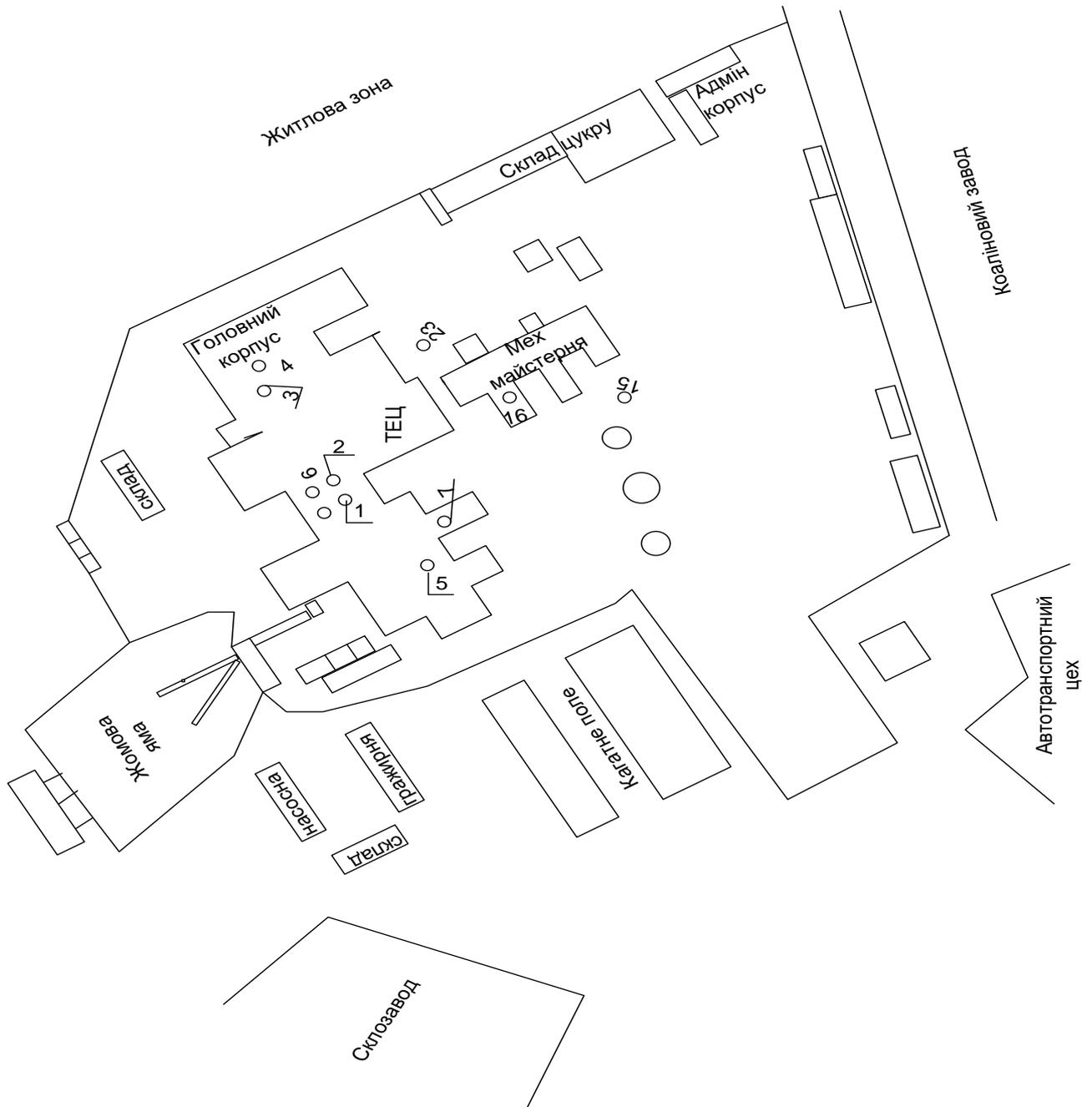
Матусяк М.В.  
(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник  Васильківський І.В.

Здобувач  Кузнець І. О.

**Додаток Б.**  
**Карта-схема ПАТ «Крижопільський цукровий завод»**



Умовні позначення: 1 – відділ першої сатурації; 2 – відділ другої сатурації; 3 – відділ сульфатації соку; 4 – відділ сульфатації сиропу; 5 – відділ сульфатації води; 6 – відділ згущування сиропу та кристалізації цукру; 7 – випалювання вапняку та приготування вапняного молока; 15 – ковальський горн; 16 – деревообробна дільниця; 23 – ТЕЦ

## Додаток В

## Акт впровадження результатів магістерської кваліфікаційної роботи

ЗАТВЕРДЖУЮ  
 Декан ФБЦЕІ, к.т.н., доцент  
 \_\_\_\_\_ Меть І. М.  
 « 5 » грудня 2025 р.

**АКТ**  
**впровадження результатів**  
**магістерської кваліфікаційної роботи студента групи ТЗД-24м**  
**Кузнець Івана Олеговича**  
**на тему: «Наукове обґрунтування екологічної безпеки приватного**  
**акціонерного товариства «Крижопільський цукровий завод»»**  
**у навчальний процес**

Комісія у складі: професора Іщенка В. А., професора Петрука В. Г., професора Кватернюка С. М., склали цей акт про те, що на кафедрі екології, хімії та технологій захисту довкілля Вінницького національного технічного університету під час виконання практичних занять з дисципліни «Проектування екологічно чистих виробництв» впроваджено результати, розроблені магістрантом *Кузнець Іваном Олеговичем*:

1. Удосконалена модель екологічного контролю, яка дасть змогу підвищити ефективність контролю скидів, викидів та відходів підприємств цукрової галузі.

2. Розроблена методика планування природоохоронних заходів для підприємств цукрової промисловості, яка базується на використанні показника еколого-економічної ефективності.

« 5 » грудня 2025 р.

Голова комісії:



д.т.н., професор кафедри ЕХТЗД, Заслужений природоохоронець України Петрук В.Г.

Члени комісії:



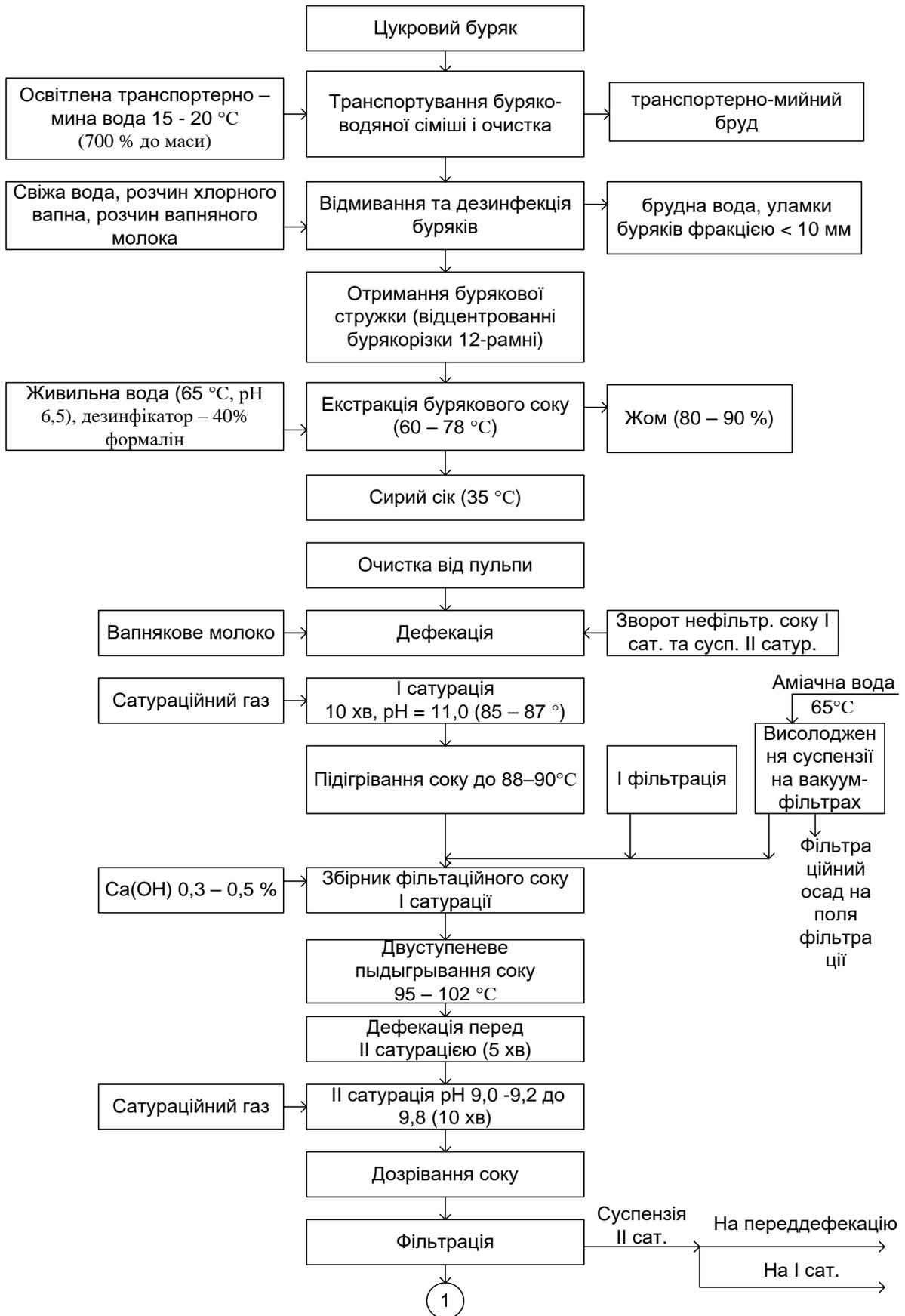
Завідувач кафедри ЕХТЗД, к.т.н., професор кафедри ЕХТЗД Іщенко В. А.



д.т.н., професор кафедри ЕХТЗД, Кватернюк С.М.

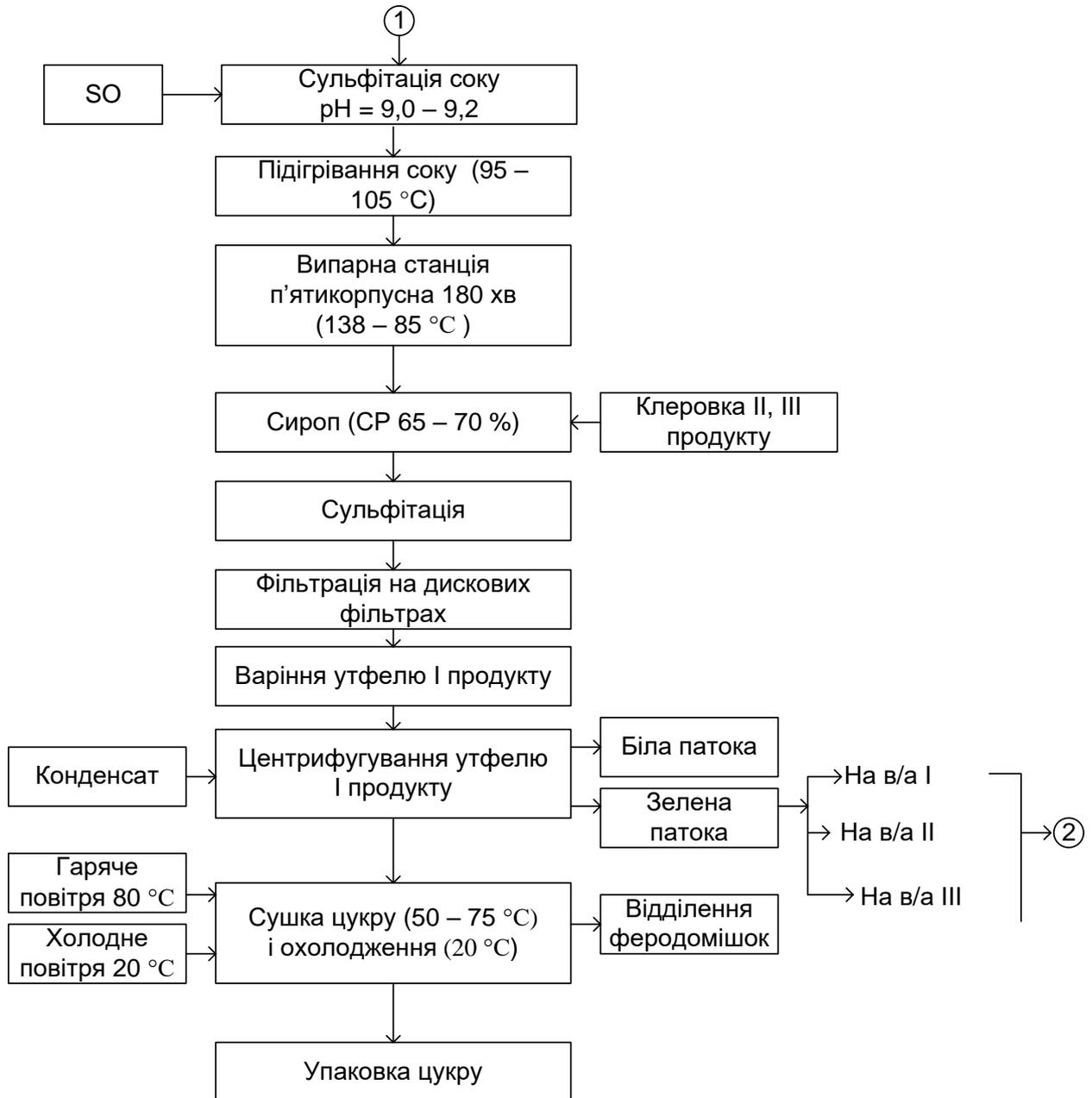
**Додаток Д. Ілюстративна частина**

**НАУКОВЕ ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПРИВАТНОГО  
АКЦІОНЕРНОГО ТОВАРИСТВА «КРИЖОПЛЬСЬКИЙ ЦУКРОВИЙ  
ЗАВОД»**

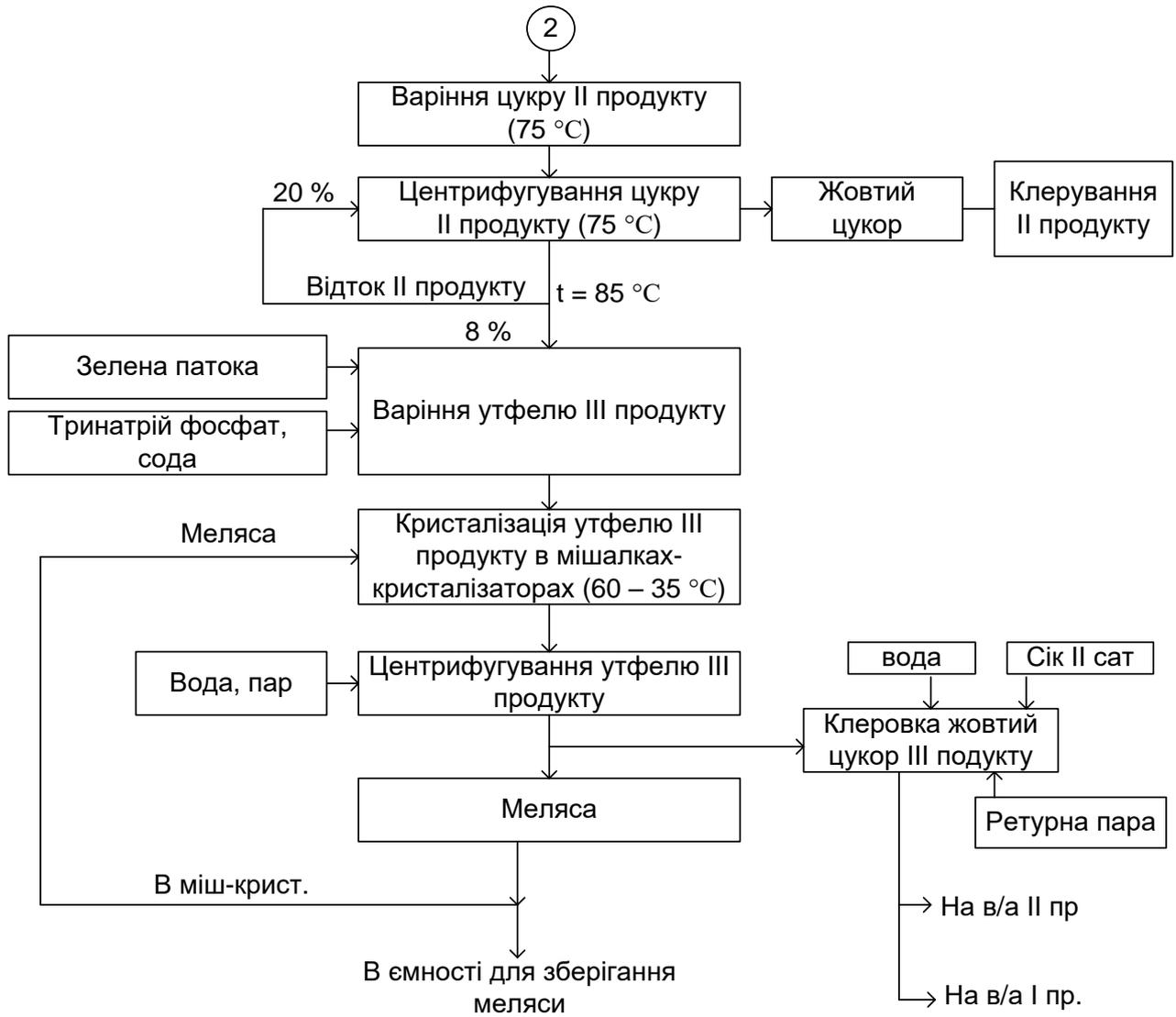


**Рисунок Д.1 - Технологічна схема виготовлення цукру  
ПАТ «Крижопільський цукровий завод».**

## Продовження рисунку Д.1

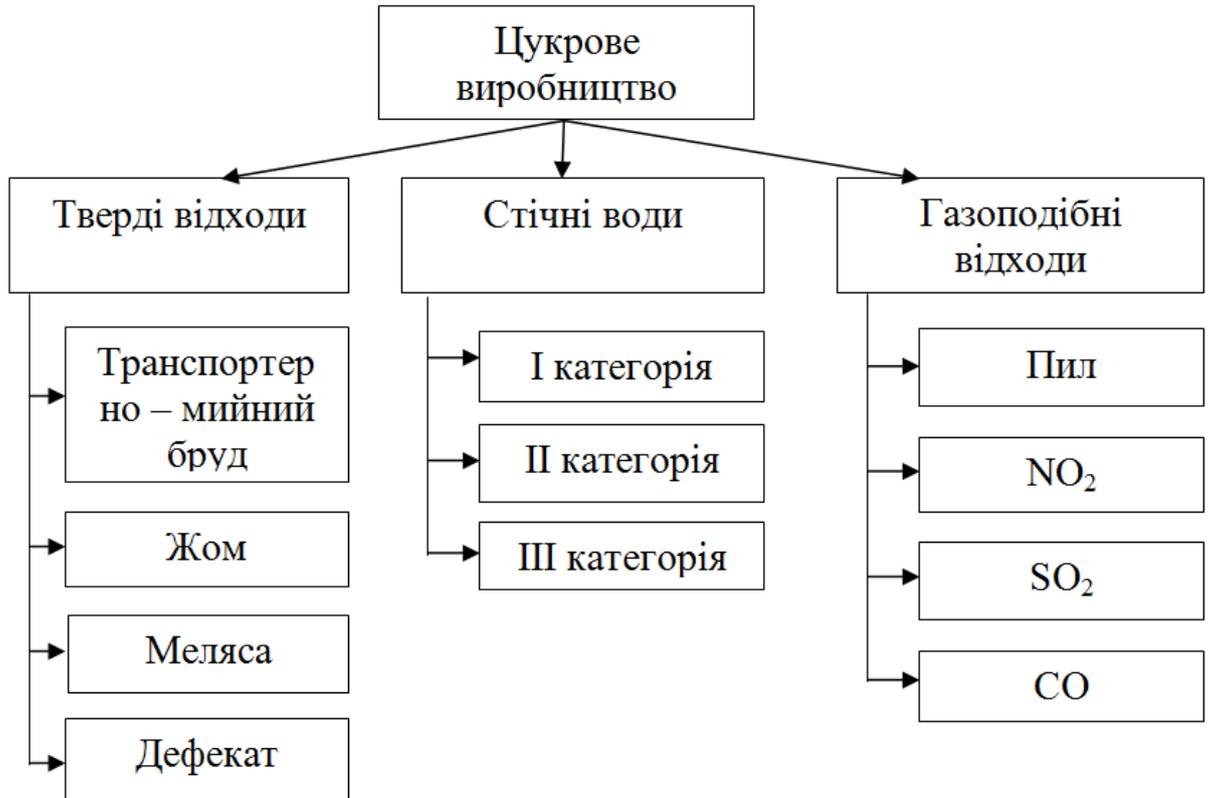


## Продовження рисунку Д.1

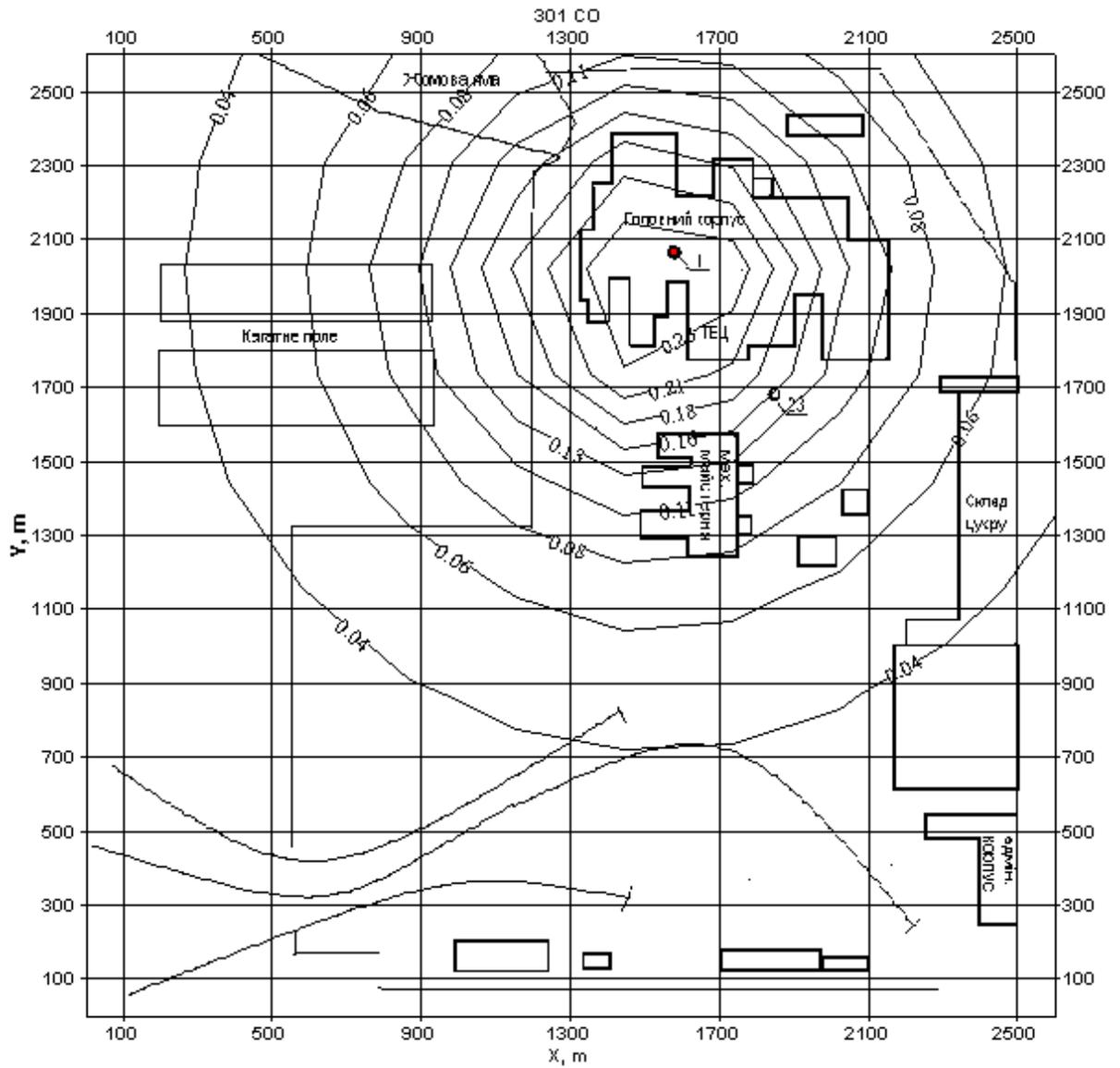


Таблиця Д.1 - Стационарні джерела викидів шкідливих речовин ПАТ  
«Крижопільський цукровий завод»

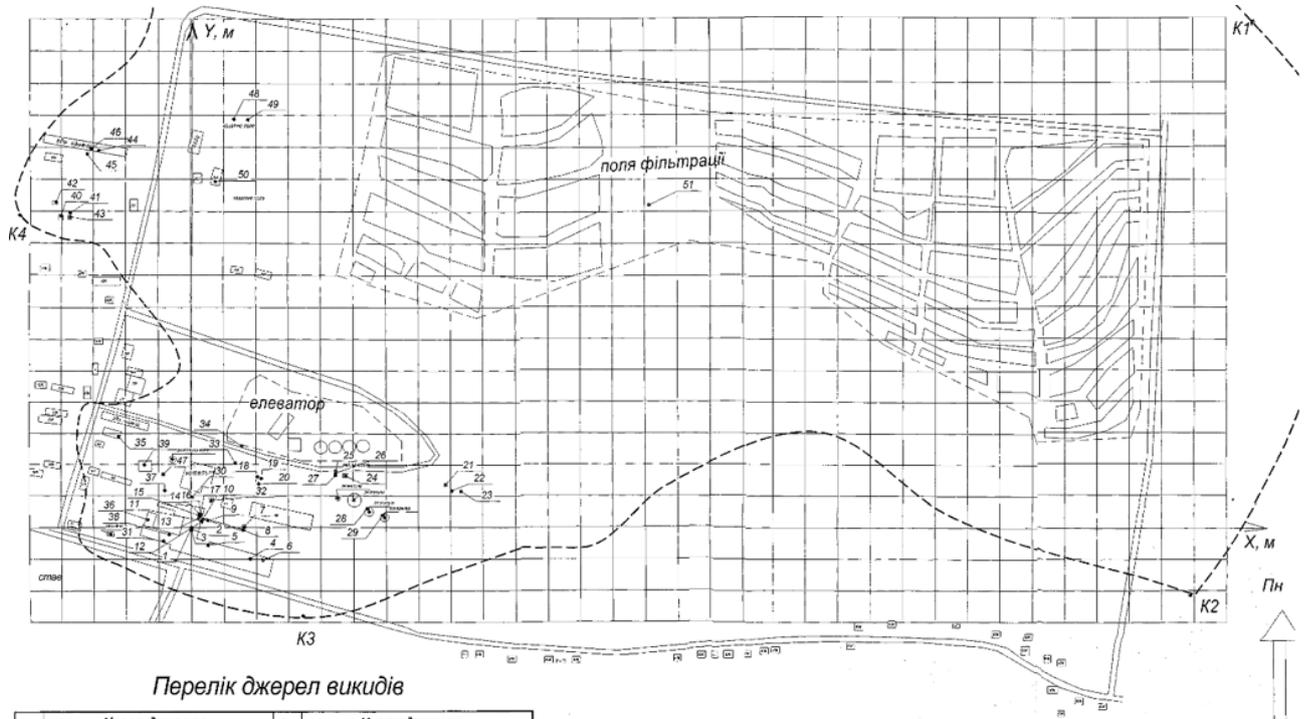
Код джерела	Найменування джерела	Координати джерела		Висота джерела	Діаметр джерела	Параметри пилогазових суміші		
		X, м	Y, м			Об'єм, м <sup>3</sup> /с	Швидкість, м/с	Температура, °С
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Сатурація соку I	65	71	20	0,75	1,74	4,0	80
2	Сатурація соку II	74	75	20	0,5	0,67	3,4	61
3	Сульфатація соку	88	103	20	0,315	0,38	4,92	70
4	Сульфатація сиропу	94	111	20	0,315	0,36	4,61	68
5	Сульфатація води	60	40	20	0,315	0,32	4,14	68
6	Згущення сиропу	52	76	20	1,0	4,55	5,8	30
7	Випалювання вапняку	61	41	20	0,5	1,41	7,2	33
15	Ковальський горн	96	-18	9	0,3	0,58	8,2	77
16	Деревообробна лінійниця	110	6	10	0,5	0,39	2	19
23	ТЕЦ	127	42	75	2,6	22,2	4,19	130



**Рисунок Д.2 - Відходи цукрового виробництва**



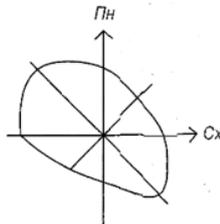
**Рисунок Д.4 - Звіт по інвентаризації викидів забруднюючих речовин ПАТ «Крижопільський цукровий завод»**



**Перелік джерел викидів**

№	Назва джерела	№	Назва джерела
1	Труба споживача 1 септичного	26	Додатковий клапан гравітаційного резервуару мазуту
2	Труба споживача 2 септичного	27	Належне відведення стічних вод
3	Труба сміття сапувальною мазу	28-29	Додатковий клапан резервуару зберігання мазуту №1,2
4	Труба споживача сарошу	30	Труба котла №1,2
5	Труба споживача води	31-32	Труба опалювального котла №3,4
6	Труба суцільного відводу	33	Щабель напіваювального бачка
7	Бачок розмалювального котла та вузла	34	Газарезервуарний вузол
8	Розбавляючий вузол	35	Усіралюва
9	Промисловий вузол	36	Водяний вузол оброблення харчових продуктів
10	Промисловий вузол	37	Помпа електроприводом №1
11	Відвалювальний вузол	38	Водяний вузол
12	Відвалювальний вузол	39	Водяний вузол
13	Труба напіваювального вузла	40	Водяний вузол
14-17	Труба напіваювального вузла	41	Водяний вузол
18	Відвалювальний вузол	42-43	Додатковий клапан резервуару для зберігання мазуту
19	Склад мазуту	44	Додатковий клапан
20	Відвалювальний вузол	45	Помпа електроприводом
21	Відвалювальний вузол	46	Водяний вузол
22	Склад мазуту	47	Водяний вузол
23	Відвалювальний вузол	48-49	Водяний вузол
24	Водяний вузол	50	Труба опалювального котла №5
25	Водяний вузол	51	Поле фільтрації

**Умовні позначення:**  
 - джерело викидів забруднюючих речовин;  
 - контрольні точки на межі нормативної зони з урахуванням розкиду влітарі;  
**К1** - контрольні точки на межі нормативної зони С33;



Звіт по інвентаризації викидів забр. речовин					Літера	Маса	Масштаб
Діа	Лист	Видаткована	Планш	Дата			1:4000
ПАТ «Крижопільський цукровий завод»					Держав.	Держав.	Держав.
Генеральний план промшайданчика					ПП «Інтер-Ілю» Д		
Н.Контроль							
Затвердила							