

Хмельницький національний університет  
Гуманітарно-педагогічний факультет  
Кафедра екології та біологічної освіти

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
здобувача першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

ОБҐРУНТУВАННЯ ОБСЯГІВ ВИКИДІВ В АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ ДЛЯ  
ПАТ «КРИЖОПІЛЬСЬКИЙ ЦУКРОВИЙ ЗАВОД» (ВІННИЦЬКА ОБЛАСТЬ,  
СЕЛО ГОРОДКІВКА)

Галузь знань – 10 «Природничі науки»  
Спеціальність – 101 «Екологія»

КРЕКОЛ. 021037.01.18.00

Виконала: здобувачка 4 курсу  
групи ЕКОЛ -21-1



Руслана ТУРДАЙ

Керівник



Андрій ДЯЧУК

Нормоконтролер



Сергій ШЕВЧЕНКО

До захисту допускаю:  
Зав. кафедри екології та  
біологічної освіти



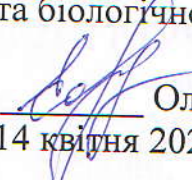
Ольга ЄФРЕМОВА

18 червня 2025 р.

Хмельницький 2025

Факультет – Гуманітарно-педагогічний  
Кафедра – Екології та біологічної освіти  
Освітній рівень – перший (бакалаврський)  
Галузь знань – 10 «Природничі науки»  
Спеціальність – 101 «Екологія»  
Освітньо-професійна програма – «Екологія»

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри екології  
та біологічної освіти

  
Ольга ЄФРЕМОВА  
14 квітня 2025 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Турдай Руслані Володимирівні

1. Тема роботи: «Обґрунтування обсягів викидів в атмосферне повітря для ПАТ «Крижопільський цукровий завод» (Вінницька область, село Городківка)». керівник роботи Дячук Андрій Олександрович, кандидат педагогічних наук, доцент.  
Затверджено наказом ректора університету від 07.02.2025 р. № 23.
2. Строк подання здобувачем роботи на кафедру 12.06.2025 р.
3. Вихідні дані до роботи: дані інвентаризації джерел викидів забруднюючих речовин ПАТ «Крижопільський цукровий завод», нормативно-правові документи щодо охорони атмосферного повітря.
4. Зміст кваліфікаційної роботи: 1. Характеристика ПАТ «Крижопільський цукровий завод» як джерела забруднення атмосферного повітря підприємства.  
2. Характеристика підприємства як джерела забруднення атмосфери.  
3. Обґрунтування обсягів викидів та пропозиції щодо їх дотримання на ПАТ «Крижопільський цукровий завод».

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів	Примітка
1	Характеристика ПАТ «Крижопільський цукровий завод» як джерела забруднення атмосферного повітря підприємства	12.05-17.05.2025	виконано
2	Характеристика підприємства як джерела забруднення атмосфери	18.05-26.05.2025	виконано
3	Обґрунтування обсягів викидів та пропозиції щодо їх дотримання на ПАТ «Крижопільський цукровий завод»	27.05-02.06.2025	виконано
4	Оформлення роботи	03.06-12.06.2025	виконано

Дата видачі завдання:

12.05.2025 р.

Здобувачка



Руслана ТУРДАЙ

Керівник



Андрій ДЯЧУК

## АНОТАЦІЯ

Тема – «Обґрунтування обсягів викидів в атмосферне повітря для ПАТ «Крижопільський цукровий завод» (Вінницька область, село Городківка)».

Автор – здобувачка освіти групи ЕКОЛ-21-1 Р.В. Турдай.

Керівник – к.пед.н., доцент А.О. Дячук.

Дипломна робота викладена на 51 сторінці, містить 5 таблиць, 3 рисунки, 2 додатки та перелік джерел посилань з 33 джерел.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ЕМІСІЯ, ОХОРОНА АТМОСФЕРИ, НЕБЕЗПЕЧНІ РЕЧОВИНИ, ВИКИДИ, ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА.

В дипломній роботі проаналізовано та здійснено оцінку впливу на атмосферне повітря від підприємства цукрової промисловості допоміжним виробництвом. Досліджено технологічні процеси та безпеку поширення поллютантів від діяльності обладнання. Розроблено рекомендації для зменшення негативних впливів на атмосферне повітря від підприємств даного типу та запропоновано ряд заходів, щодо підвищення екологічної безпеки виробництва.

11.06.2025 р.



Руслана ТУРДАЙ

## ЗМІСТ

	С.
Вступ.....	5
1 Характеристика ПАТ «Крижопільський цукровий завод» як джерела забруднення атмосферного повітря .....	8
1.1 Загальні відомості про підприємство, характеристика промислового майданчику та структурних об'єктів .....	8
1.2 Характеристика технологічного процесу .....	10
1.3 Коротка характеристика фізико-географічних та кліматичних умов району розташування підприємства .....	17
2 Розрахунок викидів забруднюючих речовин ПАТ «Крижопільський цукровий завод».....	20
2.1 Розрахунок викидів забруднюючих речовин ПАТ «Крижопільський цукровий завод».....	20
2.2 Розрахунок розсіювання забруднюючих речовин за програмою «ЕОЛ 2000» та аналіз результатів розрахунку.....	28
3 Обґрунтування обсягів викидів забруднюючих речовин та розробка рекомендацій щодо їх дотримання .....	39
Висновки .....	46
Перелік джерел посилань .....	48
Додаток А Характеристика джерел викидів забруднюючих речовин..	52
Додаток Б Результати розрахунку приземних концентрацій забруднюючих речовин за програмою «ЕОЛ-2000».....	58

## ВСТУП

Атмосфера є однією з фундаментальних складових біосфери, яка виконує низку критично важливих функцій: захист живих організмів від космічного та ультрафіолетового випромінювання, регуляція теплового балансу земної поверхні, формування кліматичних умов, що визначають гідрологічний режим річок, розвиток ґрунтово-рослинного покриву, а також ландшафтоутворювальні процеси.

У сучасних умовах проблема забруднення атмосферного повітря набула надзвичайної актуальності, оскільки має безпосередній вплив на стан здоров'я населення, функціонування екосистем, кліматичні зміни та збереження біорізноманіття. Внаслідок інтенсивної індустріалізації, урбанізації та зростання антропогенного навантаження відбувається збільшення обсягів викидів шкідливих речовин в атмосферне повітря, що вимагає впровадження дієвих заходів екологічного контролю та розробки ефективних стратегій щодо їх зниження.

Несприятливі зміни якості атмосферного повітря призводять до погіршення санітарно-гігієнічного стану навколишнього середовища, підвищення частоти метеорологічних аномалій, таких як тумани, а також зниження прозорості атмосфери до сонячного випромінювання. Негативні наслідки відчутні не лише в урбанізованих зонах, а й у сільськогосподарських регіонах, де функціонують промислові підприємства агропромислового комплексу.

Згідно з сучасними науковими уявленнями, забруднення атмосфери може бути природного (виверження вулканів, пилові бурі, природні пожежі) або антропогенного походження. Найбільш інтенсивне антропогенне навантаження пов'язане з діяльністю промислових об'єктів, серед яких особливе місце займають підприємства харчової промисловості, зокрема цукрові заводи.

Агропромисловий сектор України, як один із ключових напрямів національної економіки, генерує значну частину викидів в атмосферне повітря. Зокрема, цукрові заводи є джерелами надходження пилу, органічних летких сполук та інших поллютантів у повітряне середовище. У цьому контексті особливої уваги потребує діяльність ПАТ «Крижопільський цукровий завод», який функціонує у межах сільськогосподарського регіону з підвищеним екологічним навантаженням.

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю науково обґрунтованої оцінки впливу виробничої діяльності ПАТ «Крижопільський цукровий завод» на атмосферне повітря, визначення обсягів викидів забруднюючих речовин та розроблення дієвих рекомендацій щодо їх мінімізації.

Метою дипломної роботи є обґрунтування рівня антропогенного забруднення атмосферного повітря, зокрема визначення кількісних характеристик викидів від ПАТ «Крижопільський цукровий завод» та формування практичних пропозицій щодо зниження їхнього негативного впливу на довкілля.

Об'єкт дослідження – виробнича діяльність ПАТ «Крижопільський цукровий завод» та навколишня територія.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати наступні завдання з використанням аналітичних, розрахункових та моделювальних методів:

- провести екологічну характеристику промайданчика ПАТ «Крижопільський цукровий завод» як джерела атмосферного забруднення;
- ідентифікувати джерела емісій на території підприємства;
- здійснити розрахунок приземних концентрацій основних забруднюючих речовин, що викидаються підприємством;
- виконати комп'ютерне моделювання розсіювання викидів за допомогою програмного забезпечення «ЕОЛ 2000»;
- розробити науково обґрунтовані рекомендації щодо зниження обсягів викидів.

Методологічну основу дослідження становлять: аналіз науково-методичної та нормативно-правової бази у сфері охорони атмосферного повітря, порівняльно-аналітичні методи, методи системного підходу до аналізу екологічних ситуацій, математичне моделювання, а також узагальнення практичного досвіду з метою формулювання прикладних рекомендацій.

Практичне значення дипломної роботи полягає у формуванні комплексу заходів з оптимізації екологічної політики підприємства, зниженні техногенного навантаження на атмосферне повітря та удосконаленні локальних механізмів природоохоронного регулювання.

Апробація результатів дипломного дослідження здійснена у формі участі у щорічній студентській науково-практичній конференції за підсумками дослідницької діяльності студентів кафедри екології та біологічної освіти (05 червня 2025 року, м. Хмельницький), де було представлено ключові положення та висновки проведеного аналізу.

# 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ПАТ «КРИЖОПІЛЬСЬКИЙ ЦУКРОВИЙ ЗАВОД» ЯК ДЖЕРЕЛА ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

## 1.1 Загальні відомості про підприємство, характеристика промислового майданчику та структурних об'єктів

Публічне акціонерне товариство «Крижопільський цукровий завод» є одним із провідних підприємств Вінницької області, яке спеціалізується на переробці цукрових буряків та виробництві цукру-піску (рисунок 1.1). Завод функціонує переважно в осінньо-зимовий період, що обумовлюється сезонністю надходження сировини, а тривалість сезону переробки зазвичай становить від 100 діб до 120 діб. Потужність заводу в сезон досягає 8000 тонн буряків на добу, що свідчить про високий рівень механізації та інтенсивності виробничих процесів [1].



Рисунок 1.1 – Промисловий майданчик ПАТ «Крижопільський цукровий завод»

Завод розташований у центральній частині селища, в безпосередній близькості до залізничної гілки та основних транспортних шляхів, що з'єднують Крижопіль із населеними пунктами Вінницької, Одеської та Черкаської областей. Таке розміщення є логістично зручним як для постачання сировини, так і для вивезення готової продукції.

Площа заводу становить приблизно **168 га** (з урахуванням виробничих, складських, транспортних та санітарно-захисних зон).

Територія, що безпосередньо прилягає до ПАТ «Крижопільський цукровий завод», має наступну структуру:

- на півночі та північному заході межує з житловою забудовою селища Крижопіль, у якій мешкає значна частина працівників заводу;
- на півдні – межує з транспортною інфраструктурою: залізничною станцією Крижопіль та вантажно-розвантажувальними майданчиками;
- на заході та південному заході – розташовані сільськогосподарські угіддя, зокрема поля вирощування цукрового буряку, що постачаються на переробку;
- на сході – знаходяться відкриті склади сировини, відстійники, допоміжні виробничі об'єкти та частково – зелені насадження [1, 2].

Рельєф місцевості, де розташований промисловий майданчик заводу – хвилястий, слабо розчленований, із невеликим ухилом на південь. Наявність природних заглиблень сприяє локальному накопиченню важких домішок в атмосфері в умовах малорухомого повітря.

Інфраструктура ПАТ «Крижопільський цукровий завод» формується навколо залізничної станції та автошляхів, що забезпечують ефективне транспортування буряку та готової продукції.

Основні зонування підприємства розподіляється на: виробничі корпуси, котельне господарство, допоміжні корпуси, склади та відкриті майданчики.

Зокрема, виробничі корпуси: включають кірпічний цех з варіння, котельню, сушарню жому, дифузійний відділ, кристалізацію, центрифуги та фасувальні ділянки.

Котельне господарство заводу розташоване окремо для мінімізації теплового впливу й забезпечення безпеки.

Допоміжні корпуси представлені ремонтними майстернями, лабораторією, підстанцією, адмінбудівлею [1, 2].

Склади та відкриті майданчики використовуються для зберігання буряку, жому, вапняку, палива та активного використання локальної логістики.

Окрім основного виробництва, завод має допоміжні цехи (ремонтно-механічний, енергетичний, лабораторний), які також генерують викиди забруднюючих речовин під час своєї діяльності. Сукупність цих процесів формує складний і потенційно небезпечний техногенний комплекс, що впливає на атмосферне повітря регіону.

До промислового майданчика проведена залізнична гілка, забезпечуючи постачання буряку великогрузовими вагонами. Також, для підвезення сировини до дифузійних вузлів діє мережа стрічкових конвеєрів та автошляхи (частково асфальтовані) сприяють маневруванню легкого та важкого транспорту.

## 1.2 Характеристика технологічного процесу

Цукрова промисловість є складною за своєю структурою галуззю, що об'єднує низку послідовно пов'язаних між собою технологічних, економічних та організаційних процесів. Виробництво цукру з цукрових буряків передбачає реалізацію великомасштабного, потокового та переважно безперервного технологічного циклу, у межах якого поєднуються окремі, частково дискретні, але функціонально синхронізовані операції. Всі виробничі етапи тісно інтегровані в єдину хіміко-технологічну, теплову та логістичну схему, що зумовлює необхідність дотримання жорстких регламентів виконання та стабільності внутрішніх технологічних зв'язків [3].

Згідно з твердженням дослідника А.В. Дороніна, на рівень середньодобового виробництва цукру впливають не лише проектні потужності підприємств, а й організаційні чинники: зокрема, рівень механізації, ступінь

забезпечення технікою та регулярність постачання сировини сільськогосподарського походження [4].

Відтак ключовою характеристикою галузі є високий ступінь залежності від аграрного сектора, оскільки саме рівень розвитку, масштаби виробництва, сезонність та якісні параметри буряків визначають режим та тривалість виробничого циклу на заводах, їхню завантаженість, енерговитратність та загальну економічну ефективність. З огляду на це, цукрові підприємства формують жорсткий зв'язок із сировинною базою, що істотно вирізняє їх серед інших переробних підприємств харчової промисловості.

Так, у джерелі [5] зазначено, що порівняно низький вміст цукристих речовин у буряках (від 14 % до 19 %) потребує значних обсягів вирощування сировини. Водночас бурякові коренеплоди мають низьку транспортабельність і потребують негайної переробки, оскільки співвідношення вологи та сухої речовини в них становить приблизно 3:1. З іншого боку, готовий продукт – цукор – має високу транспортабельність, стабільну якість та довготривалий термін зберігання. З економічної точки зору, транспортування буряків на відстань 1 км залізничним транспортом у 8 разів дорожче за перевезення такої ж кількості цукру. Це зумовлює стратегічну орієнтацію цукрових заводів на розміщення в межах сировинних зон. Вибір дислокації підприємства, що не відповідає логіці сировинного забезпечення, є головною передумовою його збитковості.

Однією з принципових умов ефективного функціонування цукрових заводів є суворе дотримання технологічної дисципліни, чітке планування термінів проведення окремих операцій, збереження стабільності виробничого ритму, забезпечення належної кваліфікації персоналу, а також використання якісної, чистої та кондиційної сировини [6].

На території Вінницької області, яка входить до числа лідерів за обсягами вирощування цукрових буряків, усі діючі цукрові заводи спеціалізуються виключно на переробці бурякової сировини. Це пояснюється як технологічною

конфігурацією виробництва, так і сприятливими агрокліматичними умовами регіону [7].

Важливим показником якості буряків є чистота соку, що визначає його придатність для кристалізації. Сахароза в складі коренеплодів перебуває у розчиненому стані разом з колоїдами, білками, мінеральними сполуками, органічними кислотами тощо. Для отримання кінцевого продукту необхідно здійснити низку складних хімічних операцій із виділення цукру, його очищення та кристалізації.

Особливістю цукрової галузі є складність процесу виробництва, що характеризується хіміко-технологічними (масовість; потоковість; загальна безперервність при переривчастості окремих операцій; сталість структури; взаємозв'язок між окремими операціями, виробничими ділянками, технологічною і тепловою схемами виробництва, зберігаючи синхронність; регламентованість структурних операцій), економічними та організаційними процесами [6, 8]. Технологічні особливості роботи цукрових заводів вимагають суворого дотримання технології виробництва, термінів виконання робіт, ритмічності роботи, рівня кваліфікації персоналу, якості та конденційності сировини.

Основні технологічні етапи виробництва цукру на ПАТ «Крижопільський цукровий завод» з буряків включають:

- механічне очищення коренеплодів від сторонніх домішок (залишків ґрунту, піску, гички);
- подрібнення на стружку (шинкування);
- екстракцію сахарози шляхом дифузії;
- очищення дифузійного соку (дефекація, сатурація);
- згущення соку шляхом випарювання води;
- уварювання до стану кристалізації;
- відокремлення патоки;
- сушіння та фасування цукру [1, 2, 9].

Процес транспортування бурякової сировини на ПАТ «Крижопільський цукровий завод» організовано із застосуванням гідравлічних транспортерів, які забезпечують її подачу з бурякоприймальних майданчиків (кагатів) до виробничого циклу. У складі гідротранспортних систем передбачено спеціальні уловлювальні пристрої різної конструкції, функціональним призначенням яких є вилучення з потоку грубих механічних домішок – каміння, піску, залишків ботви [2].

Під час переміщення коренеплодів по гідротранспортеру значна частина механічних забруднень відділяється завдяки турбулентному впливу водного середовища, проте на поверхні буряків нерідко зберігаються прилиплі частинки ґрунту, що знижують якість подальших технологічних процесів. З метою повного очищення сировини буряк подається до мийного відділення заводу, де реалізується ретельне видалення залишкових домішок.

Мийний процес має критичне значення для забезпечення належного функціонування дифузійного обладнання та отримання якісного соку. Наявність домішок у сировині призводить до абразивного зносу елементів обладнання, порушення режимів екстракції та погіршення органолептичних властивостей продукту. Тому мийка повинна проводитись максимально ефективно [9, 10].

Механізми мийного комплексу складаються із прямокутних або овальних ємностей-корит, заповнених водою. У середині розміщені роторні вали з ексцентричними виступами (кулаками), які створюють гвинтоподібний потік та діють за принципом шнека, переміщуючи буряк уздовж ванни. У процесі цього переміщення відбувається активне відокремлення домішок від коренеплодів за рахунок механічного тертя й турбулентних потоків води.

Машини для миття буряків оснащені спеціальними пісковловлювачами та каменеловушками, які затримують мінеральні частинки, запобігаючи їх потраплянню в подальші технологічні ланки. Це сприяє зниженню зносу обладнання та підвищенню надійності експлуатації дифузійних систем.

Після завершення мийного етапу очищені коренеплоди за допомогою вертикальних елеваторів транспортуються до верхнього технологічного рівня

заводу – на висоту приблизно 20 метрів. Це дає змогу реалізувати гравітаційну подачу буряка на наступні етапи: автоматичне зважування та подрібнення [3, 9].

Зважування здійснюється за допомогою автоматизованих ковшових ваг, які дозволяють точно контролювати кількість поданої сировини й забезпечують стабільне завантаження бурякорізального обладнання. Вся система транспортування й очищення буряку є важливою складовою безперервного технологічного потоку, що забезпечує високий рівень ефективності роботи заводу.

Сировина, яка надходить на завод, зазвичай містить до 15 % домішок. Для забезпечення сталого технологічного процесу необхідно провести її попереднє очищення за допомогою механічних, гідравлічних і відцентрових методів. Домішки – пісок, земля, каміння, залишки листя – значно ускладнюють роботу обладнання, підвищують зношуваність вузлів і впливають на якість кінцевого продукту, тому ретельна підготовка сировини є критично важливою умовою ефективного функціонування підприємства [11].

Видобування сахарози з бурякової сировини здійснюється шляхом дифузійного вилучення, яке є основним методом екстрагування цукру в сучасному цукровому виробництві. На підготовчому етапі цукровий буряк подрібнюють до форми стружки, яка має жолобчасту або пластинчасту геометрію. Важливими параметрами, що характеризують бурякову стружку, є її товщина (у межах від 0,5 мм до 1,0 мм) та ширина (від 3 мм до 6 мм). Якість стружки має істотний вплив на ефективність роботи дифузійного апарата, а також на рівень втрат сахарози в жомі.

Для отримання цукру з бурякової стружки потрібно виділити максимально можливу кількість сахарози. Для цього сахарозу вимивають зі стружки гарячою водою у дифузійних установках безперервної дії.

На цукровому виробництві дифузійний процес є складним комплексом трьох видів дифузії [12]. На початку відбувається дифузія цукру з розірваних при розрізуванні буряку в стружку клітин (вільна дифузія), потім починається проникнення води у клітковий сік (осмос) і після нагрівання стружки до 60 °C і

денатурації протоплазми починається основний процес виділення цукру з вакуолей клітин буряку до дифузійного соку (діаліз).

Під час цих технологічних процесів з рідини необхідно прибрати дрібні зважені частинки буряків і розчинені органічні речовини. Технологія дозволяє видалити до 40 % побічних речовин. Все, що залишається, накопичується в мелясі і видаляється лише на кінцевому етапі виробництва.

Наступним йде нагрівання соку до 90 °С, який потім обробляється вапном.

Наступним процесом є усунення вапна з розчину – сатурація. Суть полягає в наступному: сік насичується діоксидом вуглецю ( $\text{CO}_2$ ), який вступає в хімічну реакцію з вапном, утворюючи вуглекислий кальцій, який і випадає в осад, поглинаючи при цьому різні забруднювачі. Для цього через дефекований сік з розчиненим у ньому вапном продувають сатураційний газ, що містить від 30 %  $\text{CO}_2$  до 36 %  $\text{CO}_2$  [13].

Після процесу сатурації сік необхідно знебарвити і розвести (зробити не таким в'язким). З цією метою через нього пропускають сірчистий газ. Ціль сульфитації – знебарвлення соку, а також його знезараження.

Сульфитація соку проводиться в орошальних сульфитаторах. Коефіцієнт використання диоксиду сірки складає 98 %, оптимальне значення рН сульфитаційного соку – від 8,5 одиниць до 8,8 одиниць.

На ПАТ «Крижопільський цукровий завод» очищення дифузійного соку відбувається шляхом двоступеневої сатурації, яка передбачає обробку соку вапняним молоком з наступним пропусканням через нього вуглекислого газу. У результаті хімічних реакцій у соку утворюється сірчиста кислота ( $\text{H}_2\text{SO}_3$ ), що є сильним відновником. Вона вступає у реакцію з водою з утворенням сірчаної кислоти ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) і виділенням водню, що сприяє освітленню соку за рахунок окисно-відновних процесів. Саме на цьому етапі значною мірою формується якість проміжного продукту, придатного для подальшого концентрування.

Після завершення сатурації отримують близько 93 % очищеного соку від первинного об'єму, з концентрацією сахарози приблизно 14 %, який надходить на наступну технологічну стадію – згущення до стану сиропу [10, 13].

На першому етапі уварювання відбувається згущення соку у випарних установках до 70 % вмісту сухих речовин. Цей густий сироп проходить додаткове очищення (наприклад, фільтрацію, дефекацію або повторну сатурацію) та знову подається на випарювання, однак уже в вакуумних апаратах, що дозволяють уникнути карамелізації сахарози за рахунок зниження температури кипіння.

Метою наступного етапу є досягнення перенасиченого розчину сахарози, в якому виникають центри кристалізації, що зумовлює початок росту кристалів цукру. Продукт, отриманий на цій стадії, називається утфель – в'язка маса, яка містить у середньому 7,5 % вологи та до 55 % кристалізованого цукру.

Процес уварювання утфеля у вакуумних апаратах здійснюється поетапно і включає чотири основні стадії:

- згущення сиропу до стану перенасичення;
- заводка кристалів – ініціація центрів кристалізації сахарози;
- нарощування кристалів – збільшення розміру кристалів за контрольованих умов;
- фінальне згущення та спуск утфеля в накопичувальні ємності [3, 8, 14].

Процес виконується за залишкового тиску приблизно 0,02 МПа, що дозволяє здійснювати кипіння сиропу при температурі від 67 °С до 70 °С. Такий температурний режим мінімізує ризик карамелізації сахарози, яка негативно впливає на якість готової продукції. У міру нарощування концентрації сухих речовин до 82 %, температура кипіння поступово підвищується до від 73 °С до 75 °С.

Контроль за моментом появи кристалів є критично важливим: вона має бути припинена, щойно у розчині з'являється достатня кількість центрів кристалізації. Подальший ріст кристалів відбувається при стабільній температурі 75 °С та тиску 0,02 МПа. Завершення процесу супроводжується досягненням максимальної концентрації сухих речовин – до 92,5 %, при цьому температура утфеля не повинна перевищувати 75 °С.

У нормальних атмосферних умовах утфель має температуру кипіння до 120 °С, однак для запобігання термічному розкладу сахарози його обробку завершують у вакуумному середовищі, що дозволяє знизити температуру кипіння до приблизно 80 °С.

Завершальною фазою технологічного процесу є відділення кристалізованого цукру від патоки. Для цього утфель подається на центрифуги, де під дією відцентрових сил кристали цукру відокремлюються від рідкої фази. Остання називається зеленою патокою – побічним продуктом, який надалі може бути використаний для виробництва кормів або спирту [14, 15].

Отже, процес переробки бурякової сировини на ПАТ «Крижопільський цукровий завод» є складною багатоступеневою технологічною системою, яка охоплює етапи механічного очищення, подрібнення, екстракції, хімічної обробки, згущення, кристалізації та відокремлення кінцевого продукту. Ретельна підготовка сировини – зокрема миття та видалення механічних домішок – має критичне значення для забезпечення стабільної роботи обладнання й ефективного вилучення сахарози. Екстракція цукру методом дифузії, подальше очищення соку шляхом сатурації та сульфатації, а також уварювання у вакуумних умовах забезпечують отримання високоякісного утфеля з оптимальними показниками чистоти та вмісту сухих речовин. Завершальним етапом є сепарація кристалів цукру від патоки, яка дозволяє отримати цукор-пісок, готовий до фасування. Усі стадії технологічного процесу взаємопов'язані, і кожна з них визначає не лише якість кінцевої продукції, а й екологічну безпеку виробництва.

### 1.3 Коротка характеристика фізико-географічних та кліматичних умов району розташування підприємства

Розсіювання забруднюючих речовин, що викидаються стаціонарними джерелами у атмосферне повітря ПАТ «Крижопільський цукровий завод», значною мірою залежить від метеорологічних умов місцевості. Сукупність

кліматичних та атмосферних параметрів визначає ефективність розсіювання поллютантів, їх зональне накопичення, а також ступінь впливу на навколишнє середовище.

ПАТ «Крижопільський цукровий завод» розміщений у межах лісостепової зони на півдні Вінницької області (сmt Крижопіль), де переважає помірно континентальний клімат (таблиця 1.1). Типовими кліматичними умовами для цієї території є:

- середньорічна температура повітря: від плюс 8,2 °С до плюс 8,8 °С;
- температура найхолоднішого місяця (січень): від мінус 5 °С до мінус 6 °С;
- температура найтеплішого місяця (липень): від плюс 19 °С до плюс 21 °С;
- середньорічна кількість опадів: від 550 мм до 600 мм, із максимумом у теплий період;
- середня швидкість вітру: від 3,5 м/с до 5,0 м/с, переважаючи напрямки – північно-західний і південно-східний;
- період спокійної атмосфери (штилю): до 10 % часу протягом року [1, 2].

Таблиця 1.1 – Метеорологічні характеристики і коефіцієнти, що визначають умови розсіювання забруднюючих речовин в атмосферне повітря

Найменування характеристик	Величина
1	2
Коефіцієнт, що залежить від стратифікації атмосфери, А	200
Коефіцієнт рельєфу місцевості	1
Середня максимальна температура зовнішнього повітря найбільш жаркого місяця року, $T, ^\circ\text{C}$	23,5
Середня температура зовнішнього повітря найбільш холодного місяця (для котельних, що працюють за опалювальним графіком)	– 8,6

Кінець таблиці 1.1

1	2
Середньорічна роза вітрів, %	–
П	7,7
ПС	7,1
С	7,8
ПДС	18
ПД	14,5
ПДЗ	7,6
З	16,3
ПЗ	21
Швидкість вітру (за багаторічними даними), повторення перевищення якої складає 5 %, $U^*$ (м/с)	7

Ці показники мають важливе значення при екологічному нормуванні викидів та розрахунках приземних концентрацій забруднюючих речовин.

## 2 РОЗРАХУНОК ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН «КРИЖОПІЛЬСЬКИЙ ЦУКРОВИЙ ЗАВОД»

### 2.1 Характеристика джерел викидів забруднюючих речовин

На території ПАТ «Крижопільський цукровий завод» присутній комплекс стаціонарних і неорганізованих джерел впливу на навколишнє середовище, зумовлений специфікою виробничих і допоміжних процесів. До основних об'єктів, які потенційно генерують викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря, належать:

- технологічне та теплотехнічне обладнання, задіяне в основних виробничих процесах цукроваріння;
- зварювальні пости ремонтно-механічних майстерень;
- деревообробні агрегати, що функціонують у цехах технічного обслуговування;
- резервуари для зберігання дизельного пального, бензину та технічних мастил, а також паливозаправні колонки;
- твердопаливні та газові котли, які забезпечують теплову енергію;
- дільниці для розвантаження кам'яного матеріалу (гравій, вапняк, пісок);
- лабораторна вентиляційна система з викидом повітря, збагаченого хімічними домішками;
- об'єкти біологічної та механічної очистки стічних вод;
- поля фільтрації, розташовані на значній відстані від основного виробничого корпусу [1, 2].

Згідно з актуальними даними інвентаризації викидів, проведеної екологічною організацією на замовлення підприємства, на промисловому майданчику №1, де функціонує основний технологічний комплекс, зафіксовано 77 стаціонарних джерел викидів, серед яких 24 є організованими. Організовані джерела обладнані витяжними системами, фільтрами та викидають забруднюючі

речовини через контрольовані вентиляційні канали, тоді як неорганізовані джерела включають відкриті поверхні, вентиляційні шахти, люки тощо.

Згідно з даними інвентаризації, проведеної згідно чинного природоохоронного законодавства, валові викиди забруднюючих речовин від стаціонарних джерел ПАТ «Крижопільський цукровий завод» становлять орієнтовно 369,41 тонн на рік. Це свідчить про значний вплив підприємства на атмосферне повітря, зокрема у період активної сезонної роботи [2].

До структури викидів входять як токсичні компоненти, так і речовини, які мають негативний вплив на клімат, стан рослинності та здоров'я населення. Найбільш поширеними серед них є: заліза та його сполук – 0,113 т/рік арсену та його сполук – 0,007 т/рік, міді та її сполук – 0,0082 т/рік, нікелю та його сполук – 0,0074 т/рік, ртуті та її сполук – 0,0041 т/рік, свинцю та його сполук – 0,005733 т/рік, хрому та його сполук – 0,001164 т/рік, цинку та його сполук – 0,000985 т/рік, марганцю та його сполук – 0,00432 т/рік, речовин у вигляді суспендованих твердих частинок (мікрочастинки та волокна) – 37,8855 т/рік, оксиду азоту – 29,252 т./рік, аміаку – 17,118 т/рік, метил меркаптану – 0,000033 т/рік, етилмеркаптану – 0,000013 т/рік, діоксиду сірки – 162,659 т/рік, сірководню – 0,0201 т/рік, сульфатної кислоти – 0,0129 т/рік, оксиду вуглецю – 110,451 т/рік, неметанових летких органічних сполук (НМЛОС) – 2,038 т/рік (в т.ч. кислоти ізомасляної – 1,583 т/рік, вуглеводнів насичених – 0,455 т/рік), бензолу – 0,0004 т/рік, кислоти оцтової – 4,75 т/рік, ксилолу – 0,000639 т/рік, толуолу – 0,0009 т/рік, формальдегіду – 0,00096 т/рік та інших [1, 2].

Відповідно до виконаних розрахунків валові викиди основних забруднюючих речовин складатимуть: кальцію оксид – 12,34 т/рік, азоту діоксид – 29,29 т/рік, аміак – 8,72 т/рік, сірки діоксид – 162,66 т/рік, вуглецю оксид – 110,45 т/рік, речовини у вигляді суспендованих частинок – 24,7 г/рік.

Результати санітарно-епідеміологічної експертизи затвердили наступні нормативи санітарно-захисних зон (СЗЗ):

– для основного цукрового виробництва – 100 метрів;

– для жомосховищ і полів фільтрації – до 300 метрів.

Хоча найбільших джерел викидів, подібних до теплових електростанцій чи металургійних заводів, на території підприємства не зафіксовано, проте певні об'єкти мають вагомий вплив на якість атмосферного повітря. До таких належать:

- Джерело №1 – димова труба котельні (викиди: оксиди азоту, чадний газ, зважені частинки, діоксид сірки);
- Джерела №14–16 – сатураційні колони, з яких вивільняються газоподібні залишки вапна та CO<sub>2</sub>;
- Джерела №19–21 – сульфітатори, де відбуваються реакції з виділенням діоксиду сірки;
- Джерело №22 – циклон від сушильного барабану, з викидом твердих завислих частинок;
- Джерело №23 – система аспірації пакувального відділення (пилові викиди);
- Джерела №43, 75, 76, 81–82, 86, 88–90, 92, 114 – твердопаливні генератори в майстернях, на КПП, на ваговій, в бурякопункті та на складі паливно-мастильних матеріалів, що викидають продукти згоряння деревини або вугілля: пил, CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> [1].

Результати моделювання розсіювання забруднюючих речовин, враховуючи фонову концентрацію в регіоні, свідчать про відсутність перевищень нормативів гранично допустимих концентрацій (ГДК) у межах СЗЗ та прилеглої житлової забудови. Таким чином, за умови належного технічного обслуговування обладнання та дотримання режимів роботи – вплив підприємства не виходить за встановлені екологічні нормативи.

Офіційний дозвіл на здійснення викидів забруднюючих речовин в атмосферу стаціонарними джерелами видано Департаментом екології та природних ресурсів Вінницької обласної військової адміністрації.

Щодо проммайданчика №2, де розташовані поля фільтрації, встановлено 5 неорганізованих джерел викидів, основними з яких є емісії метану, аміаку та

сірководню, що утворюються внаслідок біохімічного розкладу органічних речовин у стоках.

Розташування джерел викидів шкідливих речовин представлено на карті-схемі. Розмір розрахункового майданчика (зона впливу підприємства) визначається як 50 висот найвищого джерела викиду, але не менше ніж 2000 м. Координати всіх джерел викидів задані у місцевій системі координат, в якій здійснюється машинний розрахунок. Програма розрахунку дозволяє визначити значення максимальних приземних концентрацій з перевіркою найнебезпечніших швидкостей вітру з кроком 10, тобто за найгірших умов розсіювання.

Значення концентрацій шкідливих речовин у розрахункових точках приземного шару повітря відображаються на картах полів концентрацій та у розрахункових таблицях.

У розрахунках наводяться значення максимальних концентрацій шкідливих речовин у частках від гранично допустимих концентрацій (ГДК) та в міліграмах на кубічний метр ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ), їх розташування на місцевості, джерела, які вносять найбільший вклад у ці концентрації, а також значення цих вкладень у частках від ГДК [1, 5, 9].

Розрахунок концентрацій проводився відповідно до програми без урахування доцільності проведення розрахунку розсіювання забруднюючих речовин на ЕОМ. Аналіз результатів розрахунку на ЕОМ за програмою «ЕОЛ» дозволяє оцінити вплив забруднюючих речовин на стан атмосферного повітря.

Розрахунок викидів від сушарки показав наступне. Для уловлювання пилу встановлено циклон типу ЦН-15-800 (ДВ-12). Джерелом викиду пилу є гирло циклона діаметром 0,5 м. Викиди пилу здійснюються під час роботи обладнання. Секундні викиди пилу визначені прямими інструментальними замірами ваговим методом за допомогою аспіратора. Концентрація жомового пилу на виході з гирла вентшахти становить  $65,19 \text{ мг}/\text{м}^3$ .

Секундний об'єм  $V$ , м<sup>3</sup>/с., пило-газоповітряної суміші становить [1, 5, 8]:

$$V = w \cdot S \frac{273 \cdot (P + \Delta P)}{101,3 \cdot (273 + t)} \quad (2.1)$$

де  $w$  – швидкість пилогазоповітряного потоку, м/сек,  $w = 7,4$  м/с.;

$S$  – площа поперечного перерізу джерела викиду, м<sup>2</sup>,  $S = 0,196$  м<sup>2</sup>;

$P$  – атмосферний тиск, кПа,  $P = 99,2$  кПа;

$\Delta P$  – тиск у газоході, кПа,  $\Delta P = 0,01$  кПа;

$t$  – температура в газоході, °С,  $t = 6$  °С.

Проведемо розрахунок секундного об'єму газоповітряної суміші:

$$V = 7,4 \cdot 0,196 \cdot \frac{273(99,2 + 0,007)}{101,3(273 + 6)} = 1,39 \text{ (м}^3\text{/год.)}$$

$$E_{\text{пилу}} = 0,001 \cdot C_{\text{пилу}} \text{ (мг/м}^3\text{)}.$$

$$V = 0,001 \cdot 65,19 \cdot 1,39 = 0,091 \text{ (г/с.)}$$

Сумарний викид пилу (т/рік) в атмосферу від аспіраційних та пневмотранспортних установок визначається за такою формулою:

$$M = 10^{-6} \cdot T \cdot \sum_{i=1}^n Q \cdot V \cdot t, \quad (2.2)$$

де  $M$  – валовий викид пилу аспіраційними і пневмотранспортними установками, т/рік;

$T$  – час роботи обладнання підприємства, діб/рік,  $T = 38$  діб/рік;

$Q$  – витрата повітря на вихлопі  $i$ -тої аспіраційної або пневмоторної установки, м<sup>3</sup>/год.;

$V$  – концентрація пилу в повітрі, що викидається, г/м<sup>3</sup>,  $V = 0,065$  г/м<sup>3</sup>;

$t$  – час роботи  $i$ -ої установки, год./добу,  $t = 20$  год./добу.

$n$  – кількість аспіраційних і пневмоустановок,  $n = 1$ .

Розрахуємо валовий викид пилу аспіраційними і пневмотранспортними установками:

$$M = 10^{-6} \cdot 38 \cdot 5010,0 \cdot 0,0652 \cdot 20 = 0,248 \text{ (т/рік)}.$$

Розрахунок викидів забруднюючих речовин при пересипанні продукції у приймальний пристрій (ДВ – 31) загальний об'єм викидів від пересипки матеріалів, що пилять, визначаємо за формулою [4, 10]:

$$Q = \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_7 \cdot G \cdot 10^6 \cdot B}{3600}, \quad (2.3)$$

де  $K_1$  – вагова частка пилової фракції в матеріалі,  $K_1 = 0,01$ ;

$K_2$  – частка пилу, яка переходить в аерозоль,  $K_2 = 0,01$ ;

$K_3$  – коефіцієнт, що враховує місцеві метеоумови,  $K_3 = 1,2$ ;

$K_4$  – коефіцієнт, що враховує місцеві умови, ступінь захисту вузла від зовнішнього впливу,  $K_4 = 0,2$ ;

$K_5$  – коефіцієнт, що враховує вологість матеріалу,  $K_5 = 0,01$ ;

$K_7$  – коефіцієнт, що враховує грубість матеріалу,  $K_7 = 0,7$ ;

$G$  – сумарна кількість матеріалу, що переробляється, т/год.,  
 $G = 50$  т/год.;

$B$  – коефіцієнт, який залежить від висоти пересипання матеріалу,  
 $B = 1$ .

Викиди забруднюючих речовин при засипанні зерна у завальну яму:

$$Q = \frac{0,01 \cdot 0,01 \cdot 1,2 \cdot 0,2 \cdot 0,01 \cdot 0,7 \cdot 50 \cdot 10^6 \cdot 1}{3600} = 0,00233 \text{ (т/с.)}.$$

Відповідно до нормативних документів підприємства, річний фонд пересипки зерна складає 380 годин на рік, звідси отримуємо:

$$Q_p = 0,00233 \cdot 380 \cdot 3600 \cdot 0,000001 = 0,00319 \text{ (т/рік)}.$$

Виконаємо розрахунок викидів від ДВ-21, для визначення кількості пилу, що потрапляє у атмосферне повітря при роботі обладнання [5, 8].

Кількість пилу, що надходить від подрібнювальних машин розраховуємо за формулою:

$$M_{\text{п}} = 10^{-4} \cdot \Pi \cdot w \cdot t, \quad (2.4)$$

де  $M_{\text{п}}$  – кількість пилу, що надходить від подрібнювальної машини, т/рік;

$\Pi$  – продуктивність подрібнювальної машини, т/год.,  $\Pi = 5$  т/год.;

$w$  – засміченість зерна та пилоутворюваність, %,  $w = 0,1$  %;

$t$  – час роботи подрібнювальної машини, год./рік,  $t = 73$  год./рік.

$$M_{\text{п}} = 0,0001 \cdot 5 \cdot 0,1 \cdot 73 = 0,00365 \text{ (т/рік)} = 0,0139 \text{ (г/с.)}$$

Розрахунок викидів забруднюючих речовин під час приготування кормів (ДВ-72) здійснюється з урахуванням загального обсягу викидів від пересипки матеріалів, що пилять, який визначається за формулою (2.3) при наступних значеннях [7-10]:

$K_1$  – вагова частка пилової фракції в матеріалі,  $K_1 = 0,02$ ;

$K_2$  – частка пилу, яка переходить в аерозоль,  $K_2 = 0,025$ ;

$K_3$  – коефіцієнт, що враховує місцеві метеорологічні умови,  $K_3 = 1,2$ ;

$K_4$  – коефіцієнт, що враховує місцеві умови, ступінь захисту вузла від зовнішнього впливу,  $K_4 = 0,005$ ;

$K_5$  – коефіцієнт, що враховує вологість матеріалу,  $K_5 = 0,01$ ;

$K_7$  – коефіцієнт, що враховує грубість матеріалу,  $K_7 = 1$ ;

$G$  – сумарна кількість матеріалу, що переробляється, т/год.,  
 $G = 5$  т/год.;

$B$  – коефіцієнт, який залежить від висоти пересипання матеріалу,  
 $B = 0,4$ .

Викиди забруднюючих речовин при засипанні жому у завальну яму:

$$Q = \frac{0,02 \cdot 0,025 \cdot 1,2 \cdot 0,01 \cdot 0,01 \cdot 1 \cdot 5 \cdot 10^6 \cdot 0,4}{3600} = 0,0000167 \text{ (г/с.)}$$

Річний фонд пересипання зерна у завальну яму складає 73 годин на рік, звідси отримуємо:

$$Q_p = 0,0000167 \cdot 73 \cdot 3600 \cdot 0,000001 = 0,00000438 \text{ (т/рік)}$$

Розрахунок викидів забруднюючих речовин від двигуна дизель-генератора (ДВ – 24) проводимо згідно «Методики розрахунку викидів забруднюючих речовин у повітря автотранспортом, який використовується суб'єктами господарської діяльності та іншими юридичними особами всіх форм власності» розраховуємо викиди забруднюючих речовин [11].

Розрахунок викидів забруднюючих речовин від двигуна дизель-генератора (ДВ – 24 )

Викид забруднюючої речовини знаходимо за формулою:

$$V_{jik} = M_{i\text{палк}} \cdot K_{\text{пвжик}} \cdot K_{\text{тсжик}}, \quad (2.5)$$

де  $V_{jik}$  – обсяги викидів  $j$ -ї забруднюючої речовини від спожитого палива  $i$ -го виду  $k$ -ю групою автотранспорту;

$M_{i\text{палк}}$  – обсяги спожитого палива  $i$ -го виду  $k$ -ю групою автотранспорту;

$K_{\text{пвжик}}$  – усереднені питомі викиди  $j$ -ї забруднюючої речовини з одиниці палива  $i$ -го виду автомобілями суб'єктів господарської діяльності;

$K_{\text{тсжик}}$  – коефіцієнт впливу технічного стану на питомі викиди  $j$ -ї забруднюючої речовини  $k$ -ї групи автотранспорту [9].

Таблиця 2.1 – Питомі викиди шкідливих речовин при роботі двигуна [10,

Марка двигуна	оксид вуглецю	вуглеводні	оксид азоту	сажа	діоксид сірки
	CO	C <sub>m</sub> H <sub>m</sub>	NO <sub>x</sub>	C	SO <sub>2</sub>
дизельний різних модифікацій	кг/т	кг/т	кг/т	кг/т	кг/т
	32	5,65	32,8	3,85	5

Таблиця 2.2 – Коефіцієнти впливу технічного стану автомобілів на питомі викиди шкідливих речовин

Марка двигуна	оксид вуглецю	вуглеводні	оксид азоту	сажа	діоксид сірки
	CO	C <sub>m</sub> H <sub>m</sub>	NO <sub>x</sub>	C	SO <sub>2</sub>
дизельний різних модифікацій	кг/т	кг/т	кг/т	кг/т	кг/т
	1,5	1,4	0,95	1,8	1,0

Витрата дизельного пального за рік – 0,186 т.

Річний час роботи – 50,0 годин.

Розрахунок викиду оксиду вуглецю:

$$V_{CO} = 0,19 \cdot 32 \cdot 1,5 = 0,00893 \text{ (т/рік)} = 0,0496 \text{ (г/с.)}$$

Розрахунок викидів вуглеводнів:

$$V_{C_mH_m} = 0,19 \cdot 5,65 \cdot 1,4 = 0,00000105 \text{ (т/рік)} = 0,00000584 \text{ (г/с.)}$$

Розрахунок викиду оксиду азоту:

$$V_{NO_x} = 0,19 \cdot 32,8 \cdot 0,95 = 0,0000061 \text{ (т/рік)} = 0,0000339 \text{ (г/с.)}$$

Розрахунок викиду сажі:

$$V_C = 0,19 \cdot 3,85 \cdot 1,8 = 0,000000716 \text{ (т/рік)} = 0,00000398 \text{ (г/с.)}$$

Розрахунок викиду діоксиду сірки:

$$V_{SO_2} = 0,19 \cdot 5 \cdot 1 = 0,00000093 \text{ (т/рік)} = 0,00000517 \text{ (г/с.)}$$

2.2 Розрахунок розсіювання забруднюючих речовин за програмою «ЕОЛ» та аналіз результатів розрахунку

Розрахунок за програмою «ЕОЛ 2000» версія 3.1 проведено з урахуванням метеорологічних характеристик м. Городок та фонових концентрацій забруднюючих речовин. Дані отримані у Державному комітеті гідрометеорології. Основні метеорологічні характеристики та коефіцієнти, що визначають розсіювання забруднюючих речовин в атмосферному повітрі, представлені у таблиці 2.3 [1, 12].

Таблиця 2.3 – Геодезичні координати об'єкта, промислового майданчику та технологічного устаткування

Широта п.ш.			Довгота с.д.		
градуси	мінути	секунди	градуси	мінути	секунди
(о)	'	"	(о)	'	"
1	2	3	4	5	6
Проммайданчик №1 с. Городківка					
49	37	29	26	28	12

Метеорологічні умови відіграють вирішальну роль у процесах розсіювання забруднюючих речовин в атмосфері. Ці умови визначаються рядом характеристик і коефіцієнтів, які безпосередньо впливають на просторовий і тимчасовий розподіл поллютантів.

Основні метеорологічні характеристики, що безпосередньо впливають на розсіювання шкідливих речовин є швидкість і напрямок вітру, температурна стратифікація, турбулентність атмосфери.

Використання цих параметрів у математичних моделях допомагає оптимізувати заходи з охорони атмосферного повітря і розробляти ефективні стратегії зниження рівня забруднення.

Програма розрахунку розроблена з урахуванням багатоваріантного аналізу концентрацій шкідливих речовин у розрахункових точках місцевості за різних напрямків вітру, беручи до уваги максимально можливі разові викиди забруднюючих речовин для найнебезпечніших швидкостей вітру.

Розташування джерел викидів шкідливих речовин відображено на карті-схемі. Розмір розрахункового майданчика (зона впливу підприємства) відповідає 50 висотам найвищого джерела викиду, але не менше ніж 2000 м. Координати всіх джерел викидів задані у місцевій системі координат, у якій здійснюється машинний розрахунок. Програма розрахунку дозволяє визначити максимальні приземні концентрації з перевіркою небезпечних швидкостей вітру з кроком 10 градусів, тобто за найгірших умов розсіювання [1, 13].

У розрахунках наведено значення максимальних концентрацій шкідливих речовин у частках від гранично допустимих концентрацій (ГДК) та в  $\text{мг}/\text{м}^3$ , а також їхнє розташування на місцевості. Визначено джерела, які вносять найбільший вклад у ці концентрації, із зазначенням значень цих вкладів у частках від ГДК [7–9].

Розрахунок концентрацій здійснювався згідно з програмою, без урахування доцільності виконання розрахунку розсіювання забруднюючих речовин на ЕОМ. Аналіз результатів розрахунку, проведеного на ЕОМ за допомогою програми «ЕОЛ», дозволяє оцінити вплив забруднюючих речовин на стан забруднення атмосферного повітря [2, 5].

Результати проведених розрахунків розсіювання забруднюючих речовин від промислового майданчику ПАТ «Крижопільський цукровий завод» за програмою «ЕОЛ 2000» представлені нижче.

Заліза оксид:

– розрахунок програмним комплексом не проводився, оскільки сума приземних концентрацій, виражена в долях ГДК, менша 0,05.

Марганець та його сполуки:

– розрахунок програмою визнаний недоцільним, оскільки сума приземних концентрацій, виражена в долях ГДК, менша 0,05.

Азоту діоксид:

- на межі СЗЗ – від 0,65 ГДК до 0,08 ГДК;
- у житловій зоні – від 0,52 ГДК до 0,08 ГДК.

Аміак:

- на межі СЗЗ – від 0,45 ГДК до 0,42 ГДК;
- у житловій зоні – від 0,44 ГДК до 0,4 ГДК.

Сірки діоксид (ангидрит сірчистий):

– розрахунок програмою не проводився, оскільки сума приземних концентрацій, виражена в долях ГДК, менша 0,05.

Сірководень:

- на межі СЗЗ – від 0,51 ГДК до 0,45 ГДК;

– у житловій зоні – від 0,48 ГДК до 0,4 ГДК.

За викидами оксиду вуглецю:

– розрахунок програмою не проводився, оскільки сума приземних концентрацій, виражена в долях ГДК, менша 0,05.

Бензол:

– розрахунок програмою не проводився, оскільки сума приземних концентрацій, виражена в долях ГДК, менша 0,05.

Ксилол:

– розрахунок програмою не проводився, оскільки сума приземних концентрацій, виражена в долях ГДК, менша 0,05.

Толуол:

– розрахунок програмою не проводився, оскільки сума приземних концентрацій, виражена в долях ГДК, менша 0,05.

Фенол:

– розрахунок програмою не проводився, оскільки сума приземних концентрацій, виражена в долях ГДК, менша 0,05.

Альдегід пропіоновий:

– на межі СЗЗ – від 0,06 ГДК до 0,02 ГДК;

– у житловій зоні – від 0,07 ГДК до 0,06 ГДК.

Кислота капронова:

– на межі СЗЗ – від 0,45 ГДК до 0,42 ГДК;

– у житловій зоні – від 0,42 ГДК до 0,4 ГДК.

Диметилсульфід:

– розрахунок програмою не проводився, оскільки сума приземних концентрацій, виражена в долях ГДК, менша 0,05.

Метилмеркаптан:

– на межі СЗЗ – від 0,78 ГДК до 0,34 ГДК;

– у житловій зоні – від 0,64 ГДК до 0,11 ГДК.

Диметиламін:

– на межі СЗЗ – від 0,99 ГДК до 0,59 ГДК;

– у житловій зоні – від 0,8 ГДК до 0,49 ГДК.

Для викидів насичених вуглеводнів розрахунок програмою «ЕОЛ 2000» не проводився, оскільки сума приземних концентрацій, виражена в долях ГДК, менша 0,05.

Пил недиференційований за складом:

– на межі СЗЗ – від 0,37 ГДК до 0,2 ГДК;

– у житловій зоні – від 0,28 ГДК до 0,17 ГДК.

Окремо проводяться програмні розрахунки для речовин, що мають ефект сумачії та утворюють групи сумачій з двох або більше складових. Результати розрахунків наступні:

Група сумачії № 3 (аміак + сірководень):

– на межі СЗЗ – від 0,97 ГДК до 0,87 ГДК;

– у житловій зоні – від 0,92 ГДК до 0,8 ГДК.

Група сумачії № 30 (ангідрит сірчистий + сірководень):

– на межі СЗЗ – від 0,51 ГДК до 0,43 ГДК;

– у житловій зоні – від 0,48 ГДК до 0,4 ГДК.

Група сумачії № 31 (азоту діоксид + ангідрит сірчистий)

– на межі СЗЗ – від 0,65 ГДК до 0,08 ГДК;

– у житловій зоні – від 0,6 ГДК до 0,05 ГДК.

Група сумачії № 33 (азоту діоксид + ангідрит сірчистий + вуглецю оксид + фенол)

– на межі СЗЗ – від 0,78 ГДК до 0,16 ГДК;

– у житловій зоні – від 0,73 ГДК до 0,13 ГДК.

Група сумачії № 34 (ангідрит сірчистий + фенол):

– розрахунок програмою не проводився, оскільки сума приземних концентрацій, виражена в долях ГДК, менша 0,05.

Отримані в результаті розрахунку на програмному комплексі «ЕОЛ» карти розсіювання забруднюючих речовин отримані подані у додатку Б.

Оцінка фактичного або прогнозованого (розрахункового) рівня забруднення атмосферного повітря здійснюється через порівняння показника

забруднення (ПЗ) окремою речовиною або сумарного показника забруднення ( $\Sigma$  ПЗ) сумішшю речовин з гранично допустимим забрудненням (ГДЗ). Визнаним допустимим вважається рівень, що не перевищує значення ГДЗ [6, 12].

Показник фактичного або прогнозованого забруднення атмосферного повітря однією речовиною розраховується за формулою (2.6):

$$\text{ПЗ} = C / \text{ГДК} \cdot 100 \%, \quad (2.6)$$

де ПЗ – показник забруднення,

C – фактична або прогнозована концентрація речовини в мг/м<sup>3</sup>,

ГДК – значення гранично допустимої концентрації цієї речовини (в мг/м<sup>3</sup>).

Сумарний показник забруднення ( $\Sigma$  ПЗ) сумішшю речовин розраховується за формулою (2.7):

$$\Sigma \text{ ПЗ} = C_1/(\text{ГДК}_1 \cdot K_1) + C_2/(\text{ГДК}_2 \cdot K_2) + C_3/(\text{ГДК}_3 \cdot K_3) + \dots + C_n/(\text{ГДК}_n \cdot K_n) \cdot 100 \%, \quad (2.7)$$

де  $\Sigma$ ПЗ – сумарний показник забруднення (у %),

C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, ..., C<sub>n</sub> – значення фактичних або прогнозованих концентрацій речовин, що входять до складу суміші (у мг/м<sup>3</sup>),

ГДК<sub>1</sub>, ГДК<sub>2</sub>, ГДК<sub>3</sub>, ..., ГДК<sub>n</sub> – значення гранично допустимих концентрацій відповідних забруднюючих речовин, що входять до складу суміші (мг/м<sup>3</sup>),

K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub>, K<sub>3</sub>, ..., K<sub>n</sub> – значення коефіцієнтів, які враховують клас небезпечності речовини: для речовин 1-го класу – 0,8, 2-го класу – 0,9, 3-го класу – 1,0, 4-го класу – 1,1 [5, 14].

До гігієнічних нормативів допустимого вмісту хімічних речовин в атмосферному повітрі населених пунктів відносяться гранично допустима концентрація (ГДК), орієнтовно безпечний рівень впливу (ОБРВ), коефіцієнт комбінованої дії (К.к.д) одночасно присутніх речовин та на їх основі встановлений показник гранично допустимого забруднення (ГДЗ).

За джерелами [3, 4] основним санітарно-гігієнічним показником впливу підприємства на атмосферу є «гранично допустима концентрація (ГДК) забруднюючої речовини в атмосферному повітрі населених пунктів – це максимальна концентрація, при якій протягом усього життя людини не спостерігається прямий або опосередкований несприятливий вплив, не знижується працездатність, не погіршується самопочуття та санітарно-побутові умови життя. ГДК визначається на основі тривалих досліджень за спеціальною методикою та затверджується головним державним санітарним лікарем України».

Відповідно джерела [7] одним із показників екологічної безпеки атмосферного повітря є: «орієнтовний безпечний рівень впливу (ОБРВ) – це максимальна концентрація забруднюючої речовини, яка визначається орієнтовно безпечною при впливі на людину та приймається як тимчасовий гігієнічний норматив допустимого вмісту речовини в атмосферному повітрі населених пунктів».

ОБРВ встановлюється на основі короточасних досліджень за відповідною методикою та вводиться в дію після затвердження Головним державним санітарним лікарем України на обмежений термін [7, 21].

Для речовин, котрі мають однонаправлений ефект впливу визначається «коефіцієнт комбінованої дії (К.к.д) – відображає характер сумісної дії одночасно присутніх в атмосферному повітрі забруднюючих речовин (сумація, посилення, послаблення, або незалежна дія)».

Його цифрове значення встановлюється експериментальним (або розрахунковим) шляхом та виражається в частках від індивідуальних ГДК забруднюючих речовин.

Відповідно до методичних вказівок визначення впливу емісій на стан атмосферного повітря, необхідно визначити «показник гранично допустимого забруднення (ГДЗ) атмосферного повітря – це відносний інтегральний критерій оцінки забруднення атмосферного повітря населених пунктів, який характеризує інтенсивність та характер сумісного впливу всіх присутніх у ньому шкідливих

домішок. Він характеризує інтенсивність та природу сумісної дії всієї сукупності присутніх у ньому шкідливих домішок. ГДЗ обчислюється для кожного конкретного випадку на основі експериментально визначених і офіційно затверджених коефіцієнтів комбінованої дії (Ккд). Ккд відображає природу сумісної біологічної дії одночасно присутніх у атмосферному повітрі забруднюючих речовин (сумація, підсилення, послаблення або незалежна дія)» [8-10].

ГДЗ розраховується для кожного окремого випадку на основі коефіцієнтів комбінованої дії (к.к.д) за формулою (2.8):

$$\text{ГДЗ} = \text{к.к.д.} \cdot 100 \% \quad (2.8)$$

У випадках, коли значення к.к.д. відсутні, їх визначення проводиться за формулою (2.9):

$$\text{к.к.д} = \sqrt{n}, \quad (2.9)$$

де  $n$  – число речовин, що присутні у повітрі, і для яких офіційно не встановлено характер комбінованої дії [11, 22].

У випадках, коли присутні в атмосферному повітрі забруднюючі речовини утворюють складну суміш із встановленими та не встановленими коефіцієнтами комбінованої дії, для розрахунку ГДЗ значення К.к.д. цієї суміші визначають за формулою (2.10):

$$\text{к.к.д.}_{\text{с.с}} = \sqrt{\sum (\text{кк.к.д.}^2(1) + \sum \text{к.к.д.}^2(2) + \sum \text{к.к.д.}^2(n) + K_m}, \quad (2.10)$$

де  $\text{К.к.д.}_{\text{с.с}}$  – коефіцієнт комбінованої дії складної суміші;

К.к.д – коефіцієнт комбінованої дії сумісно присутніх речовин, 1, 2, 3,...n;  
n – число речовин у суміші, значення К.к.д яких відсутні в офіційних списках;

$K_m$  – числове значення коефіцієнту для речовин з певним характером комбінованої дії [11].

У випадку наявності в атмосферному повітрі однієї домішки показник ГДЗ = 100 %.

Визначити показник фактичного або прогнозованого забруднення атмосфери однієї речовиною можна за формулою (2.11):

$$ПЗ = \frac{С}{ГДК} \cdot 100 \%, \quad (2.11)$$

де ПЗ – показник забруднення;

С – фактична або прогнозована концентрація речовини в мг/м<sup>3</sup>;

ГДК – значення гранично допустимої концентрації цієї речовини, мг/м<sup>3</sup>

При розрахунках по визначенню коефіцієнту комбінованої дії складної суміші для ПАТ «Крижопільський цукровий завод» розраховуємо показник для 13 речовин, що не мають ефекту однонаправленої дії та 5 груп сумачії [4–9, 19]:

$$К.к.д.сс = \sqrt{13 + 5} = 4,24.$$

Тоді показник гранично допустимого забруднення (ГДЗ) буде рівний:

$$ГДЗ = 4,24 \cdot 100 \% = 424 \%$$

$$\text{Кратність перевищення ГДЗ: } K_p = ПЗ / ГДЗ = 422 / 424 = 0,995.$$

Ступінь небезпечності – безпечний.

Звіт за результатами розрахунків розсіювання наведено в додатках.

Таблиця 2.5 – Речовини, що викидаються ПАТ «Крижопільський цукровий завод» в атмосферу від джерел викидів [1, 2, 6]

№ з/п	Найменування речовини	Клас небезпечності речовини	ГДК <sub>м.р.</sub> , (ОБРД), мг/м <sup>3</sup>	$\frac{C}{ГДК}$	К	ПЗ · 100 %
1	2	3	4	5	6	7
1	Азоту діоксид	2	0,2	0,05	1,0	0,05
2	Азоту оксид	3	0,4	0,05	0,9	0,055
3	Акролеїн	2	0,03	0,51	1,0	0,51
4	Аміак	4	0,2	0,43	1,1	0,39
5	Сірки діоксид (ангідрит сірчистий)	3	0,5	0,05	1,0	0,05
6	Водень хлористий	2	0,2	0,48	0,9	0,53
7	Вуглецю оксид	4	5,0	0,05	1,1	0,045
8	Етантіол	–	3e -05	0,05	0,9	0,055
9	Заліза оксид	–	0	0,05	1,0	0,05
10	Зола	3	0,3	0,05	1,0	0,05
11	Кислота масляна	3	0,015	0,05	0,9	0,055
12	Кислота оцтова	3	0,2	0,06	0,9	0,067
13	Кислота сірчана	2	0,3	0,43	1,0	0,43
14	Ксилол	3	0,2	0,05	1,0	0,05
15	Марганець та його сполуки	2	0,01	0,7	1,1	0,64
16	Метан	–	50	0,89	0,9	0,81
17	Метилмеркаптан	4	0,0001	0,05	1,1	0,045
18	Натрію гідроксид	–	0,01	0,34	1,0	0,34
19	Пил абразивно-металічний	–	0,4	0,01	1,0	0,009
20	Пил вугілля	–	0,11	0,05	1,0	4,112
21	Пил деревний	–	0,1	0,01	0,9	0,005
22	Пил лушпиння соняшнику	–	0,14	0,5	1,0	0,577
23	Пил неорганічний, з вмістом діоксиду кремнію від 70% до 20 %	3	0,3	0,01	0,9	0,262
24	Пил неорганічний, з вмістом діоксиду кремнію вище 70%	3	0,15	0,1	1,0	0,032
25	Пил неорганічний, з вмістом діоксиду кремнію нижче 20 %	3	0,5	0,5	1,1	7,7524
26	Пил сухого бурякового жому	–	0,06	0,1	1,0	13,26977
27	Пил цукру	–	0,1	0,6	0,9	8,839
28	Суміш насичених вуглеводнів	3	–	0,35	1,0	381,167
29	Сірководень	2	0,008	0,50	1,0	0,01207
30	Вуглецю діоксид	–	0	–	–	103877,143
31	Діазоту оксид	–	0	–	–	2,113

У цьому розділі було проведено розрахунок розсіювання забруднюючих речовин від проммайданчику ПАТ «Крижопільський цукровий завод» за допомогою програми «ЕОЛ 2000». Отримані результати дозволили оцінити

максимальні приземні концентрації шкідливих речовин, виявити місця їх найбільшого накопичення та ідентифікувати джерела з найбільшим внеском у забруднення атмосферного повітря. Аналіз результатів розрахунку продемонстрував, які потрібно приймати заходи, щодо дотримання належної ситуації у зоні впливу підприємства.

### **3 ОБГРУНТУВАННЯ ОБСЯГІВ ВИКИДІВ ТА ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ЇХ ДОТРИМАННЯ НА ПАТ «КРИЖОПІЛЬСЬКИЙ ЦУКРОВИЙ ЗАВОД»**

Забруднення атмосферного повітря внаслідок діяльності промислових підприємств є одним із ключових екологічних ризиків. Згідно із Законом України «Про охорону атмосферного повітря» та ДСП 201-2010, кожне підприємство повинно забезпечити дотримання гранично допустимих викидів (ГДВ), які встановлюються на основі результатів інвентаризації, розрахунків викидів та моделювання їх розсіювання [20].

У контексті дослідження діяльності ПАТ «Крижопільський цукровий завод», було проведено комплексну оцінку впливу підприємства на атмосферне повітря. Основними завданнями аналізу були: визначення джерел викидів, розрахунок їх обсягів, моделювання розсіювання забруднюючих речовин у приземному шарі атмосфери та порівняння отриманих результатів із нормативами

У результаті аналізу результатів розрахунків, виконаних за допомогою програмного забезпечення «ЕОЛ-2000», було виявлено перевищення гранично допустимих концентрацій (ГДК) окремих забруднюючих речовин на межі санітарно-захисної зони. Зокрема, встановлено перевищення нормативів для таких речовин, як діоксид сірки ( $\text{SO}_2$ ) та діоксид азоту ( $\text{NO}_2$ ), що свідчить про надмірний вплив діяльності підприємства на атмосферне повітря в прилеглих до виробничого майданчика зонах.

Основним джерелом викидів забруднюючих речовин на підприємстві є котельня, яка функціонує на вугіллі, пелетах та природному газі. В результаті згоряння палива утворюються оксиди азоту, оксиди сірки, тверді частинки, сажа, оксид вуглецю та метан. Загальна маса викидів вуглекислого газу складає 445,99 т/рік, що є найбільшим показником серед усіх речовин. Інші забруднювачі, зокрема оксиди азоту та сірки, мають відповідно 28,32 т/рік та 18,75 т/рік.

Окрім котельні, значний внесок у загальну масу забруднюючих речовин здійснює дільниця сушіння та гранулювання бурякового жому. Під час технологічного процесу відбувається термічна обробка вологого жому з метою зменшення його вологості та підготовки до тривалого зберігання або реалізації. В процесі сушіння утворюється значна кількість викидів у повітря: пари вологи, зважені частинки, пилоподібні частинки органічного походження, а також певна частка оксидів вуглецю та летких органічних сполук.

За результатами інвентаризації, обсяг твердих частинок, що виділяються під час сушіння, становить близько 12,4 т/рік, що порівнювано з викидами сажі з котельні. Джерело має середню висоту (12 м), що зумовлює погіршення умов розсіювання і підвищену концентрацію пилу в приземному шарі

Моделювання розсіювання забруднюючих речовин за допомогою програмного забезпечення «ЕОЛ 2000» виявило перевищення нормативних концентрацій на межі санітарно-захисної зони (300 м). Зокрема, концентрація  $\text{SO}_2$  становить  $0,072 \text{ мг/м}^3$  при нормативі  $0,05 \text{ мг/м}^3$ , а  $\text{NO}_2$  –  $0,062 \text{ мг/м}^3$  при нормативі  $0,04 \text{ мг/м}^3$ .

Встановлено, що на межі санітарно-захисної зони концентрація діоксиду сірки ( $\text{SO}_2$ ) становить 1,44 ГДК, а діоксиду азоту ( $\text{NO}_2$ ) – 1,55 ГДК. Такі значення перевищують допустимі норми, що вказує на порушення гігієнічних регламентів та потенційний негативний вплив на здоров'я населення прилеглих територій

Для зменшення екологічного навантаження необхідно скоригувати існуючі викиди таким чином, щоб концентрації забруднюючих речовин на межі санітарно-захисної зони не перевищували встановлених нормативів. У випадку Крижопільського цукрового заводу, розрахунки показують, що для досягнення цього рівня необхідно знизити викиди оксидів азоту та сірки. Зменшення обсягів може бути досягнуто за рахунок модернізації технологій спалювання, очищення димових газів.

Для модернізації технологічного процесу, рекомендуємо провести заміну циклонних батарей (тип ЦН-11) та мокрого газоочисника ВІП-180 на більш сучасне обладнання з вищою ступіню ефективності очистки. Відповідно, для

очистки газоповітряної суміші від котельні та характеристик сучасного обладнання пропонуємо встановити циклон ЦН-24 (рисунок 3.1) та скруббер типу Вентурі (рисунок 3.2).



Рисунок 3.1 – Модель циклону ЦН-24

Циклон ЦН-24 є компактним апаратом для сухого очищення газів. Його конструкція базується на класичному принципі центробіжного очищення. Таким чином, у технологічній схемі ПАТ «Крижопільський цукровий завод» циклон ЦН-24 доцільно встановлювати на лінії попереднього очищення димових газів котельні або сушильної дільниці. Його застосування дозволяє зменшити викиди золи та твердого пилу в атмосферу щонайменше на 70 %, що, своєю чергою, знижує навантаження на подальші етапи мокрої або каталітичної очистки,

покращує екологічну безпеку підприємства та сприяє дотриманню нормативів гранично допустимих викидів твердих речовин.

Наступним етапом очистки пропонуємо встановити скруббер Вентурі, який дозволить зменшити надходження у атмосферне повітря викидів  $\text{SO}_2$  та  $\text{NO}_2$ .



Рисунок 3.2 – Скрубер Venturi (виробник RITM industry, Україна)

Модель серії 7000/8000 від **RITM Industry** виконана за класичною схемою вертикального Venturi-скрубера і складається з трьох функціональних зон: збіжної, горлової та розбіжної. Горлова частина оснащена регульованим довгим перехідним сегментом «Maxi-Impact», що забезпечує утворення високої швидкості потоку (від 30 м/с до 120 м/с) і мікрокраплинного аерозолю для

інтенсифікації контакту газу з робочою рідиною . Цей підхід спрямований на ефективне видалення частинок розміром до 0,2 мкм, а також абсорбцію розчинних та реактивних газів, зокрема SO<sub>2</sub> і NO<sub>2</sub>.

Для видалення SO<sub>2</sub> використовуються типово лужні реагенти (вапняний розчин або NaOH). Водночас, абсорбція NO<sub>2</sub>, за умови застосування спеціальних реагентів (аміак, сечовина), реалізується із ефективністю понад 88 % завдяки хімічному поглинанню в турбулентному середовищі аерозолі.

З метою визначення ефективності впровадження запропонованого обладнання було проведено повторний перерахунок кількості викидів оксидів сульфуру та нітрогену та встановлено їх концентрацію на межі СЗЗ заводу.

Викиди в тоннах за рік сульфуру діоксиду після впровадження заходів від джерела котельня складають:

$$M_{SO_2} = 18,75 \cdot (1 - 0,85) = 2,81 \text{ т/рік};$$

Викиди в тоннах за рік азоту діоксиду після впровадження заходів від джерела котельня складають:

$$M_{NO_2} = 28,32 \cdot (1 - 0,60) = 11,33 \text{ т/рік}.$$

Відповідно після встановлення обладнання було проведено додаткове моделювання роботи джерел викидів і визначено концентрацію забруднюючих речовин на межі СЗЗ (таблиця 3.1)

Таблиця 3.1 – Концентрації забруднюючих речовин після встановлення рекомендованого обладнання

№ з/п	Найменування забруднюючої речовини	Концентрація (часток ГДК), мг/м <sup>3</sup>	Джерело викиду
1	сульфуру діоксид	0,0108	труба котельні
2	нітрогену діоксид	0,0248	труба котельні

За результатами аналізу технічної документації, встановлено, що викиди сушильного цеху здійснюються **через неорганізоване джерело**, тобто без проходження через сертифіковану систему газоочистки.

Через те, що сушильний цех на момент дослідження функціонує без організованого газоочисного обладнання, забруднюючі речовини потрапляють у приземний шар атмосфери без розрахованого контролю. Враховуючи характер викидів (пил, NO<sub>x</sub>, CO, ЛОС), **існує ризик перевищення ГДК у межах санітарно-захисної зони**, особливо для органічного пилу та запахових домішок.

З метою забезпечення ефективного захисту атмосферного повітря та зниження техногенного навантаження на довкілля, пропонується впровадити наступний комплекс заходів технічної модернізації джерела викидів.

Запропоновані заходи охоплюють як технічну модернізацію вентиляційної системи, так і впровадження ефективних фільтрувальних установок:

- організація джерела викиду: необхідно забезпечити герметичне відведення повітря з сушильної установки до єдиного вентиляційного колектора;
- встановлення попереднього пиловловлювача: для грубодисперсних часток рекомендується застосування циклону типу ЦН-15 або ЦН-24, який забезпечує зниження навантаження на фінішні фільтри та ефективне відділення великих фракцій жому та волокон (до 70 %);
- монтаж рукавного фільтра з імпульсним очищенням (типу pulse-jet): така система дозволяє досягти ступеня очищення до 99,9 % для частинок розміром від 0,2 мкм до 10 мкм;
- встановлення високої вентиляційної труби (не менше 15 м): забезпечення необхідної висоти джерела викиду дозволить покращити умови розсіювання шкідливих домішок у атмосфері та знизити приземні концентрації.

Аналіз результатів розрахунків за допомогою програмного забезпечення «ЕОЛ-Плюс» виявив наявність перевищення гранично допустимих концентрацій діоксиду сірки та діоксиду азоту на межі санітарно-захисної зони підприємства. Це підтверджує необхідність впровадження ефективних очисних технологій. Запропоновані технічні рішення – зокрема встановлення циклону

ЦН-24 для механічного уловлювання пилу та скрубера Вентурі для газоочистки – дозволяють досягти суттєвого зниження обсягів викидів і забезпечити дотримання екологічних нормативів. Практична реалізація таких заходів сприятиме поліпшенню стану атмосферного повітря у зоні впливу підприємства.

Практична реалізація запропонованих природоохоронних заходів сприятиме суттєвому зниженню техногенного навантаження на атмосферне повітря, підвищенню рівня екологічної безпеки для населення та відповідності діяльності підприємства чинному законодавству та досягненню цілей сталого розвитку території.

## ВИСНОВКИ

Проведене дослідження дало змогу всебічно оцінити вплив діяльності ПАТ «Крижопільський цукровий завод» на стан атмосферного повітря та обґрунтувати шляхи мінімізації негативного впливу на довкілля. Об'єкт дослідження – промисловий майданчик площею 168 га – є одним із найбільших підприємств цукрової галузі у Вінницькій області. Основними джерелами викидів забруднюючих речовин є котельня, сушильна дільниця бурякового жому, а також допоміжні виробничі підрозділи.

Усього на території підприємства ідентифіковано понад 23 стаціонарних організованих джерел викидів, серед яких найбільш потужними є котельня та сушильний цех. За результатами інвентаризації та розрахунків, загальний обсяг викидів становить понад 500 тонн на рік, з яких основну масу складають: діоксид сірки ( $\text{SO}_2$ ), діоксид азоту ( $\text{NO}_2$ ), вуглекислий газ ( $\text{CO}_2$ ), органічний пил, чадний газ ( $\text{CO}$ ), метан та леткі органічні сполуки. Викиди здійснюються як у результаті спалювання палива, так і внаслідок сушіння жому та функціонування допоміжного обладнання.

За результатами моделювання розсіювання забруднюючих речовин встановлено перевищення гранично допустимих концентрацій (ГДК) для  $\text{SO}_2$  і  $\text{NO}_2$  на межі санітарно-захисної зони, що свідчить про реальну загрозу для здоров'я населення та довкілля.

Розрахунки, проведені з використанням програмного забезпечення «ЕОЛ-Плюс», показали, що до впровадження очисного обладнання концентрація діоксиду сірки ( $\text{SO}_2$ ) на межі санітарно-захисної зони становила  $0,072 \text{ мг/м}^3$  при нормативі  $0,05 \text{ мг/м}^3$ , що свідчить про перевищення в 1,44 раза. Концентрація діоксиду азоту ( $\text{NO}_2$ ) сягала  $0,062 \text{ мг/м}^3$  при нормативі  $0,04 \text{ мг/м}^3$  (перевищення в 1,55 раза). Після встановлення циклону ЦН-24 та скрубера Вентурі концентрації знизились до  $0,0108 \text{ мг/м}^3$  ( $\text{SO}_2$ ) та  $0,0248 \text{ мг/м}^3$  ( $\text{NO}_2$ )

Особливу увагу також привертає факт, що викиди з сушильного цеху залишаються неорганізованими, тобто такими, що не проходять через жодну систему очищення, що суперечить чинним нормативам.

Для досягнення екологічної безпеки на підприємстві обґрунтовано комплекс заходів технічної модернізації. Зокрема, для котельні рекомендовано впровадити циклон ЦН-24 та скруббер Вентурі, які забезпечують ефективне очищення від пилу,  $SO_2$  та  $NO_2$ . Для сушильного цеху запропоновано організацію викиду з наступним очищенням за допомогою циклону, рукавного фільтра та сорбційної камери для поглинання запахів. Очікуване зниження обсягів шкідливих речовин дозволить дотримати нормативів і суттєво покращити стан приземного шару повітря.

Впровадження зазначених заходів сприятиме не лише екологічній модернізації підприємства, а й досягненню низки Цілей сталого розвитку, зокрема: Ціль 3 – «Міцне здоров'я і благополуччя», Ціль 9 – «Індустріалізація, інновації та інфраструктура», Ціль 13 – «Боротьба зі зміною клімату». Таким чином, результати дипломного дослідження мають як прикладну, так і стратегічну цінність для розробки природоохоронної політики підприємства в межах сталого розвитку регіону.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1 ПАТ «Крижопільський цукровий завод». Технічна документація. Звіт «Поділля». – Вінниця. – 2023. – 58 с.

2 Крижопільський цукровий завод. %. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://latifundist.com/kompanii/1394-kryzhopolskij-saharnyj-zavod> (дата звернення: 3.05.2025).

3 Кравченко О. М. Очищення газів на підприємствах: навч. посіб. Харків: ХНАМГ. – 2018. – 240 с.

4 Доронін А. В. Ефективність виробництва цукрових буряків та цукру в Україні // Сталий розвиток економіки. Економіка та управління національним господарством. – 2013. – № 3 (20). – С. 51–55.

5 Цукровий буряк vs. цукрова тростина: краща сировина для виробництва цукру та етанолу [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ukrsugar.com/uk/post/cukrovij-burak-vs-cukrova-trostina-krasa-sirovina-dla-virobnictva-cukru-ta-etanolu-castina-1> (дата звернення: 10.05.2025).

6 Виробництво цукру в Україні скоротилося на 15%. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://news.finance.ua/ua/news/-/443355/vyrobnytstvotsukru-v-ukrayini-skorotylos-na-15> (дата звернення: 13.05.2025).

7 Коденська М.Ю. Тенденції розвитку і напрями активізації інвестування цукробурякового виробництва / М.Ю. Коденська // Економіка АПК. – 2010. – № 2. – С.74–78.

8 Кухар В.М. Прогресивна технологічна схема мийного відділення із використанням сучасних процесів інтенсифікації та обладнання для відмивання цукрових буряків / В.М. Кухар, В.Д. Саповський, М.Д. Хоменко, А.І. Сорокін // Цукор України – 2014. – № 7. – С.10 – 12.

9 Масліков М.М. Сучасні технологічні процеси, обладнання та енерговикористання в харчовій промисловості. Цукрова, олійна, консервна галузі: Серія навчально-методичних матеріалів. / Під ред. Щербак С. Д. // Київ : – ЮНІДО. – 2015. – С. 22 – 26.

10 Костенко Т. Аналіз інноваційного розвитку підприємств цукрової галузі / Т. Костенко // Вісник Київ. нац. ун-ту. Економіка. – 2014. – №5 (158). – С. 63–68.

11 Воєцька О.Є. Перспективи використання побічних продуктів цукрового виробництва. / О.Є. Воєцька, І. С. Чернега, О.Г. Цюндик, М.О. Могилянський, І.В. Теплих // Зернові продукти і комбікорми. – 2018. –№ 18.1. – С. 37 – 43.

12 Onyshchuk, Yuliya The development strategy of the sugar industry in the context of European integration of Ukraine / Yuliya Onyshchuk // Baltic Journal of Economic Studies. – Volume 2 Number 1. – Riga : Izdevnieciba Baltija Publishing. – 2016. – P. 88 – 95.

13 Месель-Веселяк В.Я. Організаційно-економічне удосконалення роботи цукробурякового підкомплексу України / В.Я. Месель-Веселяк, М.М. Ярчук // Економіка АПК. – 2013. – №2. – С. 3 – 8.

14 Методики оцінки ефективності реалізації регіональних природоохоронних та державних (загальнодержавних) цільових екологічних програм. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/z2146-12> (дата звернення: 16.05.2025).

15 Julián Sobrino Simal. Los archivos del trabajo en la estrategia de un plan para la recuperación del patrimonio industrial de Andalucía / Julián Sobrino Simal // Revista Abdaluz de Archivos. – 2010. – N 2. – P. 119 – 132.

16 Оборотні системи охолоджувального водопостачання в бурякоцукровому виробництві та сучасні технології обробки оборотних вод: Навч. посібн. Київ: ІПДО НУХТ. – 2009. – 60 с.

17 Сергієнко В.І. Інструкція з питань водного господарства цукрових заводів / В.І. Сергієнко, В.С. Самойленко, А.І. Сорокін // Київ : УкрНДІЦП. – 1994. – 114 с.

18 ОНД-86. Методика розрахунку концентрацій в атмосферному повітрі шкідливих речовин, що містяться у викидах підприємств. – Київ, 1986. – 16 с.

19 Перелік тимчасово допущених до використання методик визначення складу, властивостей та забруднюючих речовин промислових викидів в атмосферне повітря : затв. М-вом охорони навколишнього природного середовища та ядерної безпеки України 3.03.97 : чинний від 12.05.97. – Київ : Наукова думка. – 2002. – 32 с.

20 ГКД 34.02.305-2002. Викиди забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок. Методика визначення. – Київ : Видавництво КВІЦ. – 2002. – 44 с.

21 Мухіна К.Є. Сучасна технологія переробки відходів споживання для одержання високоякісних порошків з рослинної сировини / К.Є. Мухіна // Науково–практичний журнал «Екологічні науки» – 2015. – № 4 – С. 75 – 82.

22 Проблеми розвитку цукрової промисловості регіону. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Unzap\\_2003\\_2\\_52](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Unzap_2003_2_52) (дата звернення: 16.05.2025).

23 Севастьянов Р.В. Енергоефективність промислових підприємств України та бар'єри з її впровадження / Р.В. Севастьянов, Я.Ю. Калітіна // Екон. вісник Запорізької держ. інж. акад. – 2016. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/evzdia\\_2016\\_1\\_6](http://nbuv.gov.ua/UJRN/evzdia_2016_1_6). 36. (дата звернення: 18.05.2025).

24 Філоненко В.М. Системи енергопостачання цукрового заводу в сучасних умовах ціноутворення на енергоресурси / В.М. Філоненко, С.М. Почко // В зб.: Міжнар. наук-техн.конф. «Перспективи розвитку цукрової галузі України». Київ: НУХТ. – 2018. – С. 125 – 129.

25 Шатохіна Н.В. Моделі та інформаційна технологія формування стратегії розвитку підприємства (на прикладі цукробурякового виробництва) [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06 / Н.В. Шатохіна; Харківський політехнічний ін-т, нац. техн. ун-т. – Харків: НТУ «ХПІ», 2008. – 20 с.

26 Хомічак Л.М. Перспективні напрями інноваційного розвитку цукробурякових заводів / Л.М. Хомічак., С.Т. Олійнічук // Виробничі питання. Вісник цукровиків України. – 2013 – №9 (88) – С. 26 – 30.

27 Gusyatyńska N. Inhibition of microbiological processes in sucrose extraction /Natalia Gusyatyńska, Tetyana Nechypor //Ukrainian Food Journal. – 2017. – Volume 6. Issue 3. – P. 504-513.

28 Четверик О.В. Аналіз ринку основної та побічної продукції бурякоцукрового виробництва: стан та перспективи розвитку / О.В. Четверик // Вісник Академії праці і соціальних відносин Федерації профспілок України. – 2014. – № 3-4. – С. 92 – 100.

29 Шутюк В.В. Дослідження варіантів виробництва твердого палива з відходів цукрового виробництва та умов його спалювання / В.В. Шутюк, К.О. Штангеев, Т.П. Василенко, С.М. Самійленко // Цукор України. – 2014. – № 12 (108). – С. 20 – 24.

30 Закон України «Про державне регулювання виробництва і реалізації цукру» № 758-XIV від 17 червня 1999 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/758-14> (дата звернення: 23.10.2020).

31 Ярчук М.М. Реструктуризація цукробурякового виробництва в Україні / М.М. Ярчук // Економіка АПК. – 2008. – №5. – С. 59 – 61.

32 Чабанюк О.А. Облік і аналіз виробничих запасів підприємств цукрової промисловості: автор. дис. .... канд. екон. наук: 08.00.09 / О.А. Чабанюк. – Київ. – 2013. – 20 с.

33 Синчак В.П. Розвиток підприємств цукрового виробництва в окремих регіонах України / В.П. Синчак, О.В. Мазур // Університетські наукові записки. – 2014. – №2. – С. 388 – 396.