

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВОЛИНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ЛЕСІ УКРАЇНКИ

Кафедра екології та охорони навколишнього середовища

ГАВРИСЮК ОЛЕГ ІГОРОВИЧ

**ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ВПЛИВУ НА АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ
ВИКИДІВ ЗЕРНОСУШИЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ**

Спеціальність 101 Екологія

Освітня програма Екологія

Робота на здобуття освітнього ступеня Бакалавр

Науковий керівник:
КАРАЇМ ОЛЬГА АНАТОЛІВНА,
кандидат економічних наук, доцент

РЕКОМЕНДОВАНО ДО ЗАХИСТУ

Протокол № 10
засідання кафедри екології та охорони
навколишнього середовища
від 02 червня 2025 р.

Завідувач кафедри

доц. Радзій В. Ф.



ЛУЦЬК – 2025

АНОТАЦІЯ

Гаврисюк О. І. Екологічна оцінка впливу на атмосферне повітря викидів зерносушильного комплексу.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня Бакалавр за спеціальністю 101 Екологія, освітньо-професійна програма Екологія. Волинський національний університет імені Лесі Українки. Луцьк, 2025.

Зерносушильні комплекси мають важливе значення для агропереробки, проте під час їх роботи виникають суттєві екологічні загрози, зокрема забруднення атмосфери шкідливими речовинами. Ці викиди погіршують якість повітря в зоні дії сушарок та негативно впливають на здоров'я працівників і мешканців навколишніх територій. У зв'язку з цим особливо актуальною є екологічна оцінка впливу таких викидів, що дозволяє визначити рівень забруднення, оцінити ризики та обґрунтувати потребу в модернізації систем очищення.

У кваліфікаційній роботі висвітлено техноекологічні аспекти функціонування зерносушильних комплексів, охарактеризовано сучасні підходи до зменшення ними викидів; подано загальну характеристику зерносушильного комплексу та розкрито особливості технологічного процесу сушіння зерна; визначено джерела утворення забруднюючих речовин на зерносушильному комплексі; описано методи визначення показників концентрацій та методики визначення величин викидів; розкрито особливості комп'ютерного моделювання викидів забруднюючих речовин в атмосферу; представлено результати розрахунку викидів забруднюючих речовин в атмосферу; здійснено аналіз видів та обсягів викидів забруднюючих речовин стаціонарними джерелами; висвітлено результати розрахунку приземних концентрацій на межі СЗЗ та заходи щодо покращення екологічного стану.

Ключові слова: екологічна оцінка, вплив на атмосферне повітря, викиди, зерносушильний комплекс.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ВПЛИВУ НА АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ ЗЕРНОСУШИЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ	7
1.1. Техноекоелогічні аспекти функціонування зерносушильних комплексів	7
1.2. Сучасні підходи до зменшення викидів зерносушильних комплексів	11
1.3. Загальна характеристика зерносушильного комплексу та особливості технологічного процесу сушіння зерна	15
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКИДІВ ЗЕРНОСУШИЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ В АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ	19
2.1. Джерела утворення забруднюючих речовин при функціонуванні зерносушильного комплексу	19
2.2. Методи визначення показників концентрацій та методики визначення величин викидів	20
2.3. Комп'ютерне моделювання викидів забруднюючих речовин в атмосферу	24
РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА ВПЛИВУ ВИКИДІВ ЗЕРНОСУШИЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ НА АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ	26
3.1. Результати розрахунку викидів забруднюючих речовин в атмосферу	26
3.2. Аналіз видів та обсягів викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами	28
3.3. Результати розрахунку приземних концентрацій на межі СЗЗ та заходи щодо покращення екологічного стану	31
ВИСНОВКИ	36
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	38
ДОДАТКИ	45

ВСТУП

Актуальність теми. Зерносушильні комплекси відіграють важливу роль в агропереробній галузі, однак під час їх експлуатації одним із ключових екологічних викликів є забруднення атмосферного повітря. У процесі сушіння зерна, відбувається інтенсивне виділення пилу, аерозольних часток та газоподібних забруднювачів, зокрема оксидів азоту та оксиду вуглецю. Ці викиди суттєво погіршують якість повітря в зоні розміщення сушарок, що може негативно впливати на здоров'я працівників підприємств і мешканців прилеглих територій. Окрім локального впливу, викиди зерносушильних комплексів сприяють глобальним екологічним проблемам, зокрема зміні клімату та зростанню концентрації парникових газів в атмосфері.

У цьому контексті надзвичайно важливим є проведення екологічної оцінки впливу викидів зерносушильних комплексів на атмосферне повітря. Такі дослідження дозволяють виявити реальний рівень забруднення, оцінити ризики для здоров'я людей та довкілля, а також обґрунтувати необхідність удосконалення технологій очищення газових викидів. Отримані результати стають основою для розробки заходів зі зменшення шкідливого впливу сушильних процесів та сприяють підвищенню екологічної безпеки аграрного виробництва.

Екологічні проблеми впливу зерносушильних комплексів на атмосферне повітря висвітлено у роботах таких українських та зарубіжних вчених як: Бакараєв О. А. [17], Караїм О. А. [16; 17], Кондратенко І. П. [20], Омаров І. С., Цивенкова Н. М. [26], Katarzyna Chojnacka, Katarzyna Mikula, Grzegorz Izydorczyk [50], Seyed Hashem Samadi, Barat Ghobadian, Gholamhassan Najafi, Ali Motevali [54] та ін.

Мета роботи – здійснити екологічну оцінку впливу на атмосферне повітря викидів зерносушильного комплексу.

Для вирішення поставленої мети необхідне розв'язання наступних завдань:

- висвітлити техноекологічні аспекти функціонування зерносушильних комплексів;
- охарактеризувати сучасні підходи до зменшення викидів зерносушильних комплексів;
- подати загальну характеристику зерносушильного комплексу та розкрити особливості технологічного процесу сушіння зерна;
- визначити джерела утворення забруднюючих речовин на зерносушильному комплексі;
- описати методи визначення показників концентрацій та методики визначення величин викидів;
- розкрити особливості комп'ютерного моделювання викидів забруднюючих речовин в атмосферу;
- описати результати розрахунку викидів забруднюючих речовин в атмосферу;
- здійснити аналіз видів та обсягів викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами;
- висвітлити результати розрахунку приземних концентрацій на межі СЗЗ та заходи щодо покращення екологічного стану.

Об'єктом дослідження є процес формування екологічного стану атмосферного повітря в межах території зерносушильного комплексу та санітарно-захисної зони.

Предмет дослідження – викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря зерносушильним комплексом.

Методи досліджень: аналітичний, структурно-логічного узагальнення та системного аналізу, вимірювання та спостереження.

Інформаційну базу дослідження становили: збірники методик, законодавчі та нормативні акти з питань дослідження та збереження атмосферного повітря, матеріали зерносушильних підприємств, Державної служби статистики України, науково-аналітичні статті, електронні джерела періодичних видань та результати авторських досліджень.

Наукова новизна роботи полягає в поглибленні теоретичних засад, обґрунтуванні необхідності та здійсненні комплексної екологічної оцінки впливу викидів забруднюючих речовин зерносушильного комплексу на атмосферне повітря, зокрема:

вперше:

- проведено комплексний аналіз техноекологічних характеристик зерносушильних процесів;

набули подальшого розвитку:

- моделювання процесу прогнозування поширення забруднюючих речовин та визначення концентрацій на межі санітарно-захисної зони;

- методичні підходи до визначення кількісних показників викидів і їх екологічного впливу, що дозволяє обґрунтувати практичні заходи для покращення якості атмосферного повітря в зоні функціонування зерносушильного комплексу.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що основні положення, викладені в кваліфікаційній роботі, доведено до рівня практичних рекомендацій. Теоретико-методичні положення кваліфікаційної роботи можуть бути використані для прийняття практичних рішень органами регіонального управління, місцевого самоврядування, фахівцями установ.

Апробація результатів та публікації. Основні положення та результати кваліфікаційної роботи викладено у доповіді на тему: «Екологічні аспекти функціонування зерносушильного комплексу» на Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Сучасна наука та освіта Волині» 22 травня 2025 року, м. Луцьк [2].

Структура роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Основний зміст викладено на 44 сторінках друкованого тексту. Робота містить 9 таблиць. Список використаних джерел нараховує 58 найменувань і міститься на 7 сторінках.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ВПЛИВУ НА АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ ЗЕРНОСУШИЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ

1.1. Техноекологічні аспекти функціонування зерносушильних комплексів

Продукція зернового виробництва залишається однією з ключових складових товарообігу як на внутрішньому, так і на світовому аграрних ринках. Однак в останні роки в Україні спостерігається тенденція до скорочення обсягів вирощування та переробки зернових культур, що супроводжується зростанням собівартості продукції на їх основі. Така ситуація зумовлена низкою чинників, серед яких варто відзначити високу енергоємність виробничих процесів та суттєві втрати якісних характеристик зерна на окремих етапах технологічного циклу, зокрема під час процесу сушіння [26].

Зерносушильні комплекси (ЗСК) відіграють важливу роль у післязбиральній обробці зернових культур, забезпечуючи необхідний рівень вологості зерна для подальшого зберігання та реалізації. Проте інтенсивна робота зерносушильних установок супроводжується значним антропогенним впливом на навколишнє середовище. Негативні наслідки їх функціонування проявляються у збільшенні викидів забруднювальних речовин, надмірному енергоспоживанні, шумовому забрудненні, утворенні теплових викидів, а також у деградації якості атмосферного повітря в межах промайданчиків та прилеглих територій.

Низка промислових галузей використовують різні види висушеного зерна, тому розроблено багато конструктивних рішень сушарок. Основною умовою здійснення процесу сушіння є рух енергії, що витрачається на випаровування вологи, тому сушильні апарати найчастіше класифікують за способом передачі тепла висушуваному матеріалу. Розрізняють конвективні

сушарки, контактні сушарки та сушарки з використанням енергетичних полів. Більшість із них можуть працювати як у безперервному, так і в періодичному режимі [50].

Одним із основних техноекологічних аспектів є висока енергоємність процесу сушіння зерна. Традиційно джерелами енергії виступають природний газ, дизельне паливо або тверді види палива. Споживання природного газу зерносушильним обладнанням середньої потужності може сягати 50–70 тис. м³ на сезон. При цьому спалювання 1 м³ природного газу супроводжується викидом близько 1,9 кг CO₂ [48].

Енергоспоживання є ключовим чинником, який необхідно враховувати під час розроблення будь-якого технологічного обладнання. Прогнозується, що до 2030 року загальний обсяг споживання енергії зросте приблизно на 40 %. У зв'язку з цим для переробних галузей важливо забезпечити ефективну оптимізацію витрат енергії. Одним із основних етапів післязбиральної обробки сільськогосподарської продукції є сушіння зерна, що активно застосовується в усьому світі. Свіже зерно зазвичай характеризується високим рівнем вологості – близько 33–45 % на суху речовину. У такому стані зернова продукція є особливо вразливою до ураження мікроорганізмами та грибковою флорою, що суттєво знижує терміни її зберігання. Для запобігання псуванню необхідно зменшити вологість зерна до безпечного рівня, що досягається шляхом його сушіння. Процес зневоднення як невід'ємна частина післязбиральної обробки базується на застосуванні теплової енергії, яка створює градієнти вологості та температури в зерновій масі, сприяючи видаленню вологи з продукту. Реалізація такого процесу вимагає значних енергетичних витрат для забезпечення цілорічного зберігання висушеного зерна [46].

Варто підкреслити, що процес сушіння зернових культур є більш енерговитратним порівняно з обробкою інших видів сільськогосподарської продукції та харчових матеріалів. Відтак зернопереробна галузь приділяє значну увагу проблемі високих енергетичних витрат при сушінні, що

визначаються рівнем енергоспоживання та ефективністю управління роботою зерносушильних комплексів. У зв'язку з постійним зростанням витрат на сушіння промислові підприємства активно шукають шляхи впровадження інноваційних енергоощадних технологій. Сучасні рішення у цій сфері орієнтовані на застосування гібридних технологічних систем, які комбінують сушіння із використанням ультразвуку, мікрохвильового та інфрачервоного випромінювання. Основним завданням таких підходів є мінімізація вартості сушіння за рахунок детального аналізу та скорочення енергетичних втрат у процесі обробки [46].

Сучасні дослідження також демонструють перспективи застосування альтернативних джерел енергії, зокрема біомаси чи теплових насосів. Вагомими у цьому напрямку є дослідження китайських науковців [57], оскільки ця країна є найбільшим виробником зерна у світі (національне виробництво зерна досягло 669,5 мільярдів кілограмів у 2020 році, з яких виробництво трьох основних зернових, включаючи рис, пшеницю та кукурудзу, досягло 92 %). Для вирішення проблеми нерівномірного сушіння та тривалого часу обробки зернової маси з підвищеним початковим рівнем вологості у високих насипах було розроблено інноваційну систему сушіння на основі теплового насоса із використанням сонячної енергії (SAHP) для застосування в зернових бункерах. Було проведено чисельне моделювання та експериментальні дослідження з метою оцінки впливу різних експлуатаційних параметрів на ефективність сушіння. Згідно з отриманими результатами, теплова ефективність сонячного колектора досягла 63 %, тоді як коефіцієнт продуктивності теплового насоса становив 5,03 за визначених умов експерименту. Середня теплова потужність системи SAHP склала 130,2 кВт, що узгоджується з результатами моделювання типового зимового сонячного дня. Внаслідок 42 годин сушіння середній рівень вологості 3760 тонн зерна зменшився з 12,9 % до 12,5 %. Питома вологовіддача системи становила 1,934 кг/кВт·год, а ексергетичний коефіцієнт корисної дії зернового бункера досяг 40,27 %. Експлуатаційні витрати на сушіння зерна із застосуванням

SAHP скоротилися з 5,57 дол./т до 1,43 дол./т порівняно із традиційною зерносушаркою при однаковій масі зерна. Добова продуктивність сушіння також суттєво підвищилася – з 166 до 334 тонн на день – у порівнянні з механічною вентиляційною сушкою за аналогічної швидкості зниження вологості. Отримані результати слугують основою для подальших досліджень та вдосконалення технології SAHP у сфері сушіння зерна в бункерних умовах [57].

Окрім енергетичних проблем, експлуатація зерносушильних комплексів супроводжується викидами широкого спектру забруднювальних речовин: діоксиду вуглецю (CO_2), оксидів азоту (NO_x), оксидів сірки (SO_x), пилових частинок PM_{10} та $\text{PM}_{2.5}$, летких органічних сполук (ЛОС) та ін. Пилові викиди особливо інтенсивні на етапах завантаження вологого зерна у бункери, сушіння та механічного транспортування. Середня концентрація пилу в робочій зоні зерносушильних майданчиків у період пікового навантаження може перевищувати гранично допустимі концентрації у 3–5 разів.

Відомо, що викиди пилу не тільки погіршують якість повітря, але й негативно впливають на здоров'я працівників, спричиняючи підвищену захворюваність на алергії та респіраторні захворювання [50]. Крім того, під час спалювання природного газу утворюються оксиди азоту (NO_x), які беруть участь у фотохімічних реакціях з утворенням тропосферного озону – одного з основних забруднювачів атмосферного повітря у літній період.

Зерносушильні комплекси генерують значний рівень шуму за рахунок роботи вентиляторів, транспортерів, сепараторів та іншого технологічного обладнання. Тривалий вплив такого шумового навантаження може викликати у працівників зниження слуху, головні болі, стресові стани та інші проблеми зі здоров'ям [37].

У процесі сушіння в навколишнє середовище виділяється значна кількість теплоти. Локальне підвищення температури повітря в районі проммайданчика може змінювати мікрокліматичні умови, сприяти утворенню температурних інверсій та впливати на локальну циркуляцію повітря.

Таким чином, функціонування зерносушильних комплексів супроводжується істотним техногенним впливом на навколишнє середовище, що проявляється у вигляді забруднення повітря, шумового навантаження та локальних змін мікроклімату.

1.2. Сучасні підходи до зменшення викидів зерносушильних комплексів

На основі дослідження [50] представимо сучасні підходи до зменшення викидів зерносушильних комплексів. Процес сушіння істотно впливає на стан навколишнього середовища через споживання викопного палива, що спричиняє забруднення атмосфери та посилення глобального потепління (зокрема, є джерелом викидів NO_x , CO та CO_2). Понад 85 % промислових сушильних установок використовують гаряче повітря, яке нагрівається шляхом спалювання викопних видів палива [54]. Використання паливних систем низької якості може супроводжуватися підвищеним рівнем забруднення, а інші джерела викидів здатні продукувати пил і неконденсовані пари. Крім того, сушіння за допомогою гарячого повітря може призвести до поглинання зерном запахових речовин або оксидів сірки, присутніх у вихлопних газах. З метою запобігання цьому застосовують електростатичні фільтри або технології каталітичного сушіння [43].

Для оцінки впливу процесу сушіння на довкілля також застосовуються більш сучасні методи, такі як оцінка життєвого циклу (LCA Life Cycle Assessment). Зазвичай цей підхід охоплює весь життєвий цикл продукції – від етапу посіву до отримання кінцевого продукту. Завдяки проведенню LCA можна детально визначити загальний вплив виробничої системи на навколишнє середовище, включно з викидами парникових газів, іншими видами забруднення, а також впливом на поверхневі води й ґрунти [53]. Виконуючи такий аналіз, можливо оцінити вплив окремих технологічних етапів і розробити стратегії мінімізації негативних наслідків для довкілля.

Водночас процес сушіння відіграє важливу роль у структурі LCA-моделі, оскільки саме на цьому етапі може спостерігатися суттєвий вплив на процеси підкислення або евтрофікації водойм. Додатково зазначається, що одним із шляхів зниження негативного впливу є скорочення використання викопного палива шляхом переходу на відновлювані джерела енергії [41]. Проте наразі існує нестача літературних джерел, присвячених аналізу LCA для сушіння зерна, що вказує на наявність наукової прогалини й відкриває перспективи для подальших досліджень у цій сфері.

Що стосується видалення твердих частинок, то викидні газы, що утворюються під час роботи сушильних систем, потребують обов'язкової механічної очистки для їх усунення твердих частинок. Особливу увагу приділяють найдрібнішим фракціям пилу – PM_{10} та $PM_{2,5}$, які становлять найбільшу небезпеку для здоров'я людей і тварин, оскільки можуть бути носіями важких металів, алергенів, поліциклічних ароматичних вуглеводнів або діоксинів [56]. На ринку представлено широкий вибір обладнання для уловлювання пилу – механічні сухі та вологі, електростатичні й фільтраційні системи. В основі їхньої роботи лежать фізичні явища: гравітаційні сили, інерційне зіткнення, відцентрові й електростатичні сили, коагуляція частинок та ефект сита. Для підвищення ефективності пиловловлювання та скорочення викидів парникових газів замість традиційних камерних печей пропонується використовувати різноманітні типи циклонних апаратів, такі як ударно-інерційні пиловловлювачі, відстійні камери, електрофільтри трубчастого або пластинчастого типу, а також волокнисті, мішкові чи кишенькові фільтри [50].

Для забезпечення очищення повітря та ефективного видалення пилу із газових потоків також застосовуються мокрі пиловловлювачі, де частинки змочуються водою, яка подається на стінки апарата або розпилюється всередині пристрою. Цей метод реалізується в різних типах скрубєрів: барботажних, незаповнених, з твердим наповнювачем, із псевдозрідженим шаром або у вентурійних пиловловлювачах [42].

Важливими на шляху до зменшення викидів є каталітичні процеси. Для виробництва енергії все активніше застосовують природний газ, нафту та біомасу, як у необробленому вигляді, так і у формі гранул. Процес отримання теплової енергії як з традиційних, так і з альтернативних джерел супроводжується утворенням великої кількості димових газів, які містять такі забруднювачі, як оксиди азоту, сірки, вуглецю та леткі органічні сполуки (ЛОС), що створює серйозні екологічні виклики [50].

У промислових зерносушильних комплексах великої потужності, де спостерігається значне енерго- та теплоспоживання, рішенням для мінімізації шкідливих викидів є застосування каталізаторів. Вони забезпечують каталітичне допалювання вихлопних газів, сприяючи зменшенню викидів парникових газів та одночасному відновленню частини енергії [55].

Головна мета використання каталізаторів в енергетиці полягає у скороченні викидів оксидів азоту (NO_x), які є одним із найнебезпечніших забруднювачів, що утворюються при спалюванні палива. Процес відновлення оксидів азоту у складі вихлопних газів відбувається за участі аміаку, оксиду вуглецю або метану в присутності каталізатора, що призводить до утворення молекулярного азоту, вуглекислого газу та водяної пари. Найбільш поширеною технологією цього процесу є селективне каталітичне відновлення (SCR) [49].

Метод SCR широко впроваджується в промисловості й транспорті, де через небезпеку використання аміаку застосовують розчин сечовини у поєднанні з різними типами каталізаторів.

Проблему викидів оксидів азоту можна вирішити шляхом їх каталітичного розкладання з утворенням молекулярного азоту та кисню. На відміну від процесу каталітичного відновлення, каталітичний розклад не потребує додаткових реагентів, таких як аміак, метан чи оксид вуглецю [52]. Для здійснення цього процесу використовуються різноманітні каталізatori, зокрема дорогоцінні метали або оксиди перехідних металів, які закріплюються на спеціальних носіях [50].

Системи каталітичного очищення вихлопних газів від оксидів азоту часто вимагають застосування технології повернення димових газів, що сприяє спалюванню оксидів азоту та підвищує загальну ефективність процесу. Використання рециркуляції вихлопних газів, які зазвичай мають дуже високу температуру, забезпечує рекуперацію теплової енергії, що сприяє економії палива та підвищенню енергоефективності системи [45]. Такий підхід дозволяє спрямовувати відпрацьовані гази на додаткові етапи обробки, зокрема десульфурацію, видалення твердих частинок або відновлення демінералізованої води, що, у свою чергу, покращує здатність вихлопних газів поглинати вологу в зворотному потоці [51].

Отже, сушіння, як великомасштабний процес, має ключове значення для аграрного сектору та переробки сільськогосподарської продукції, оскільки гарантує високу якість продукції та сприяє її довготривалому зберіганню. Цей процес виконує захисну функцію, запобігаючи розвитку біологічних забруднювачів, таких як комахи та грибкові організми. Завдяки підтриманню низького рівня вологості сповільнюється життєдіяльність цих шкідливих агентів і блокується їх розмноження, що дає змогу зменшити використання пестицидів і фунгіцидів та зберегти високу якість зернової продукції [50].

Впровадження інноваційних рішень у процес сушіння зернових культур сприятиме зниженню витрат на сушіння та досягненню позитивного екологічного ефекту за рахунок зменшення викидів токсичних речовин у повітря робочої зони. Серед інноваційних підходів, що дозволяють скоротити експлуатаційні витрати сушильного обладнання, варто відзначити застосування систем теплообміну (теплообмінників) та заміну теплоносія, наприклад, перехід із газу на біомасові відходи. Використання каталізаторів горіння для очищення вихлопних газів газових пальників або котлів на біомасі забезпечить екологічно безпечну роботу сушарок.

Впровадження інноваційних рішень у процес сушіння зернових культур сприятиме зниженню витрат на сушіння та досягненню позитивного екологічного ефекту за рахунок зменшення викидів токсичних речовин у

повітря робочої зони. Серед інноваційних підходів, що дозволяють скоротити експлуатаційні витрати сушильного обладнання, варто відзначити застосування систем теплообміну (теплообмінників) та заміну теплоносія, наприклад, перехід із газу на біомасові відходи. Використання каталізаторів горіння для очищення вихлопних газів газових пальників або котлів на біомасі забезпечить екологічно безпечну роботу сушарок.

Сушіння, що базується як на традиційних, так і на альтернативних видах палива, вимагає використання каталітичних технологій для очищення димових газів. На ринку доступний широкий асортимент каталізаторів на основі дорогоцінних металів і оксидів металів, які забезпечують каталітичне відновлення або розкладання забруднювальних речовин. Шкідливий вплив сушіння зерна на довкілля зменшується завдяки очищенню димових газів від пилу та конверсії парникових газів, особливо оксидів азоту (NO_x). Крім того, застосування каталізаторів сприяє підвищенню енергоефективності всього процесу [50].

1.3. Загальна характеристика зерносушильного комплексу та особливості технологічного процесу сушіння зерна

Виробничою базою досліджуваного зерносушильного комплексу є майданчик розташований у Горохівському районі Волинської області.

Взаємне розміщення підприємства і об'єктів, що з ним межують:

- з півночі – територія підприємства;
- зі сходу – корівники (не діючі);
- з півдня – корівники (не діючі);
- з заходу – склади.

Відомості про район розташування майданчика та умови навколишнього середовища наведені у табл. 1.1 та 1.2.

Таблиця 1.1

Геодезичні координати

Пн. широта			Сх. довгота		
Градуси (о)	Мінути (')	Секунди (")	Градуси (о)	Мінути (')	Секунди (")
Об'єкт					
50	27	38	24	46	24

Таблиця 1.2

Метеорологічні характеристики і коефіцієнти, які визначають умови розсіювання забруднюючих речовин в атмосферному повітрі населеного пункту*

Найменування характеристик	Величина
Коефіцієнт, який залежить від стратифікації атмосфери, А	180
Коефіцієнт рельєфу місцевості	1
Середня максимальна температура зовнішнього повітря найбільш жаркого місяця року, Т, °С	23,5
Середня температура зовнішнього повітря найбільш холодного місяця (для котельних, які працюють за опалювальним графіком), Т, °С	-4,9
Середньорічна роза вітрів, %	
П	8
ПС	5,2
С	11
ПдС	15,7
Пд	15,2
ПдЗ	12,5
З	18,8
ПЗ	13,6
Швидкість вітру (за середніми багаторічними даними), повторення перевищення якої складає 5%, U*, м/с	13

*Джерело: [14].

Технологічний процес сушіння зерна складається з наступних етапів. Доставлене від комбайнів вологе зерно автомобілями висипається в завальну яму, звідки безпосередньо завантажується в приймальний бункер зерносушильної установки. За допомогою норії № 1 зерно транспортується для висушування в зерносушарку моделі SUKUP TE2052E, продуктивністю

32 т/год.

Сушіння зерна відбувається в сушильній колоні димовими газами в автоматизованому режимі. У зерносушарці використовується два дозуючих вальці, які забезпечують просушування зернових шарів через установку з різною швидкістю. Дана схема руху зерна називається хрестовинною, при виконанні якої внутрішній більш гарячий шар зерна проходить через зернову колону швидше, ніж зовнішній більш холодний шар. У результаті цього досягається більш рівномірний рівень вологості висушеного зерна, зниження втрати тестової ваги та підвищення якості й однорідності зерна.

У якості джерела тепла використовується високоекономічний паливник марки 2036B-3N-N-G з інтенсивним полум'ям, що забезпечує повне згорання палива (природний газ). Пальники створені за технологією Starfire забезпечують оптимальні пропорції змішування газу і повітря для високої ефективності і рівномірного розподілу тепла. Лопасті виготовлені з нержавіючої сталі, та надійне зварювання гарантує міцність, надійність та довготривалість терміну використання. Вікно спостереження на бічній стінці кожуха пальника дозволяє легко контролювати його роботу. Електронна система запалювання постійно контролює безпеку роботи. Витрата природного газу становить 200–300 м³/год.

Розбавлення димових газів до необхідної температури здійснюється трьома вентиляторами потужністю 44 кВт і витратою повітря 35400 м³/год кожен. Викид димових газів та пилу здійснюється із верхньої зони через перфоровану поверхню зерносушильної установки.

Нагріте та висушене зерно подається за допомогою норії № 2 до двох вентиляційних установок для охолодження до природної температури. Продуктивність установки охолодження становить 16 т/год.

Охолоджене зерно за допомогою норії № 3 вивантажується у зерноочисну установку БЦС-50, де працює віброцентробіжний зерновий сепаратор Р8-БЦ2-С-50, призначений для очищення зерна, круп'яних, колосових і зернобобових культур від дрібних, легких і великих бур'янистих

домішок, які відрізняються від основної зернової культури розмірами і аеродинамічними властивостями. Домішки відокремлюються за допомогою решіток і під впливом повітряного потоку. Проводити чистку зерна необхідно перед сушінням, довготривалим зберіганням, будь-якою обробкою іншого виду, а також перед підготовкою зерна для подальших відправок, продажів та підготовкою насіннєвого матеріалу.

Конструктивно зернові сепаратори являють собою циліндричні блоки, які встановлюються на спеціальних платформах. Конструкція такої форми дає можливість застосовувати кожен з блоків сепаратора окремо, наприклад, у випадку, коли необхідна робота з різними зерновими культурами або при різних режимах одночасно. Досить проста конструкція дає гарантію низьких витрат на технічне обслуговування і довговічність агрегату.

Принцип дії сепаратора полягає у тому, що вихідний зерновий матеріал надходить у віялку, де відбувається відділення і виведення пилу, дрібних, легких домішок та сміття у циклон. Після цього зерно проходить очистку на ситовому барабані, який здійснює обертальний і вертикально-коливальний рух. Завдяки відцентровим силам, інерції та обертальному рухові ситового барабана, частки матеріалу притискаються до внутрішньої поверхні решета і за рахунок ваги, сил інерції та коливальному рухові переміщуються зверху вниз. Просочуючись через отвори трьох сит, зерновий матеріал ділиться на фракції: дрібні домішки, подрібнене або дрібне зерно, чисте зерно і великі домішки.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКИДІВ ЗЕРНОСУШИЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ В АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ

2.1. Джерела утворення забруднюючих речовин при функціонуванні зерносушильного комплексу

Джерелом № 1 утворення забруднюючих речовин є зерносушарка. Під час сушки зерна, внаслідок зниження вологості, відбувається часткове шелушіння зерна у вигляді пилових частинок. Загальна кількість висушеного зерна за рік становить 10665 т. Висушування зерна відбувається в сушильних колонах димовими газами від пальника, що працює на природному газі. Витрата газу становить 60,0 тис. м³/рік. Розбавлення димових газів до необхідної температури здійснюється трьома вентиляторами потужністю 44 кВт і витратою повітря 35400 м³/год кожен. Викид пилогазоповітряної суміші здійснюється із верхньої зони через перфоровану поверхню сушарки. Фонд робочого часу зерносушильної установки становить 2304 год/рік. Джерело викиду неорганізоване.

Забруднюючі речовини, що утворюються при роботі установки: оксиди азоту (у перерахунку на діоксид); вуглецю оксид; речовини у вигляді суспендованих твердих частинок недиференційованих за складом; парникові гази: метан, діоксид вуглецю, оксид діазоту, НМЛОС.

Джерелами № 2 та № 3 утворення забруднюючих речовин є охолоджувачі зерносушильного агрегату. Висушене зерно за допомогою норії подається до установки охолодження. Охолодження здійснюється повітрям, що нагнітається вентиляторами. Продуктивність установки охолодження зерна становить 16 т/год. Фонд робочого часу установки становить – 2304 год/рік. Джерела викидів організовані. Забруднюючі речовини, що утворюються при роботі обладнання: речовини у вигляді суспендованих твердих частинок недиференційованих за складом.

Джерело № 4 утворення забруднюючих речовин – зерноочисна установка БЦС-50. Охолоджене зерно через норії вивантажується у зерноочисну установку. Джерелом утворення забруднюючих речовин є сепаратор віброцентробіжний зерновий, який відділяє зерно від домішок. У процесі роботи очисної установки відбувається відділення твердих суспендованих речовин від зернового матеріалу та виведення їх через циклон типу ЦОЛ-6, з ефективністю очистки 89,8 %. Фонд робочого часу установки становить – 2304 год/рік. Джерело викиду організоване.

Забруднюючі речовини, що утворюються при роботі обладнання: речовини у вигляді суспендованих твердих частинок недиференційованих за складом.

Джерелами № 5 та № 6 утворення забруднюючих речовин є котли Vaillant, продуктивністю 24 кВт кожен, що працюють на природному газі. Котли функціонують для опалення бригадного будинку. Витрата природного газу становить 5,8 тис. м³/рік для кожного котла. Викид продуктів згорання палива здійснюється металевою трубою, окремою для кожного котла. Котли працюють в опалювальний період 2244 год/рік. Джерело викиду організоване.

Забруднюючі речовини, що утворюються при роботі установки: оксиди азоту (у перерахунку на діоксид); оксид вуглецю; парникові гази: метан, діоксид вуглецю, оксид діазоту, НМЛОС.

2.2. Методи визначення показників концентрацій та методики визначення величин викидів

Мета дослідження викидів – визначення характеристик та параметрів стаціонарних джерел викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря при функціонуванні зерносушильного комплексу.

Матеріали дослідження використовуються для:

– підготовки вихідних даних для визначення нормативів ГДВ

забруднюючих речовин для наявних джерел викидів;

- регулювання викидів забруднюючих речовин в атмосферу;
- здійснення державного обліку в галузі охорони атмосферного повітря;
- розробки короткострокових і довгострокових планів заходів

зерносушильного комплексу;

– розробки екологічних програм зі зниження викидів забруднюючих речовин в атмосферу [12].

Проведення дослідження регламентоване інструкцією КНД 211.2.3.014-95 [18].

Інструментально-лабораторні заміри проводились при номінальному навантаженні згідно [7; 8; 19; 27; 35].

Методи визначення показників концентрацій і методики визначення величин викидів вказані у табл.2.1.

Таблиця 2.1

Методи визначення показників концентрацій
і методики визначення величин викидів*

№ з/п	Забруднююча речовина	Метод визначення показників концентрації	Методика визначення величин викидів
1	2	3	4
1	Оксиди азоту (у перерахунку на діоксид)	Газоаналізатор	Інструкція із експлуатації ОКСИ-5М-5Н
		-	Розрахунково
2	Вуглецю оксид	Газоаналізатор	Інструкція із експлуатації ОКСИ-5М-5Н
		-	Розрахунково
3	Метан	-	Розрахунково
4	Суспендовані частинки, недиференційовані за складом	Гравіметричний	МВВ № 081/12-0161-05
		-	Розрахунково
5	Діоксид вуглецю	-	Розрахунково
6	Оксид діазоту	-	Розрахунково
7	НМЛОС	-	Розрахунково

*Джерело: [7; 8; 12; 18; 19; 27; 35; 36; 38].

Максимально разові (г/с) і валові викиди (т/рік) в атмосферне повітря

джерел викиду визначені на підставі аналізу результатів інструментальних замірів, аналітичних розрахунків, проектних даних та технологічних нормативів. Максимально разові (г/с) і валові викиди (т/рік) в атмосферу неорганізованих джерел визначені розрахунковим методом.

Річний фонд робочого часу устаткування і максимальна кількість одночасно функціонуючих джерел викидів визначена на основі аналізу технологічних процесів, коефіцієнтів завантаження устаткування, продуктивності окремих підрозділів комплексу і в залежності від кількості використаної сировини, матеріалів та палива.

За джерелом 1 розрахунок валових викидів забруднюючих речовин проведено за питомими показниками згідно [12], а також річною кількістю палива та зерна, з використанням [24].

Валовий викид розраховуємо за формулою (1):

$$M^{\text{БАЛ}} = M \cdot p \cdot K, \text{ т/рік} \quad (1)$$

де, K – коефіцієнт, що враховує ступінь захищеності від зовнішнього середовища;

p – питомий викид твердих суспендованих частинок (пилу зерна);

M – маса висушеного зерна.

Максимально-разовий викид твердих суспендованих розраховується за формулою (2):

$$q_m = (M^{\text{БАЛ}} \cdot 10^6) / (B \cdot 3600), \text{ г/с} \quad (2)$$

де, B – фонд робочого часу сушарки.

Методика розрахунку викиду продуктів спалювання палива буде наступною [12]. Розрахунок валового викиду забруднюючих речовин здійснюється за формулою (3):

$$E_j = 10^{-6} \cdot B \cdot k_j \cdot Q_i^r, \text{ т/рік} \quad (3)$$

де, k_j – показник емісії j -тої забруднюючої речовини для природного газу, г/ГДж;

B – масова витрата природного газу, т/рік;

$$B = B_v \cdot \rho_n, \text{ т/рік} \quad (4)$$

V_v – об’ємна витрата природного газу, тис. м³/рік;

ρ_H – густина газоподібного палива при н.у., $\rho_H=0,723\text{кг/м}^3$;

Q_i^r – масова нижча теплота згорання палива, МДж/кг;

$$Q_i^r = Q_{iv}^r / \rho_H, \text{ МДж/кг} \quad (5)$$

Q_{iv}^r – об’ємна нижча теплота згорання газоподібного палива при н.у., МДж/м³;

Визначення показника емісії k_j j -ї забруднюючої речовини:

Як приклад представимо розрахунок для оксид азоту NO₂:

$$k_{\text{NO}_2} = (k_{\text{NO}_2})_0 \cdot f_H \cdot (1 - \eta_I) \cdot (1 - \eta_{II} \cdot \beta) \quad (6)$$

$(k_{\text{NO}_2})_0$ – показник емісії оксидів азоту без врахування заходів скорочення викиду;

f_H – ступінь зменшення викидів оксидів азоту під час роботи на низькому навантаженні;

η_I – ефективність первинних заходів скорочення викиду;

η_{II} – ефективність вторинних заходів (азотоочисної установки);

β – коефіцієнт роботи азотоочисної установки.

Розрахунок максимально-разового викиду:

$$M^{\text{мр}} = \frac{k_{\text{Hg}} \cdot Q_H^r \cdot V_{\text{год}}}{3,6 \cdot 10^6}, \frac{\text{г}}{\text{сек}} \quad (7)$$

де, $V_{\text{год}}$ – годинна витрата палива, м³/год.

Величина масової витрати (г/с) речовин у вигляді суспендованих твердих частинок недиференційованих за складом *джерел № 2 та № 3* визначена згідно фактичних замірів. Розрахунок валового викиду проведено за питомими показниками виділення пилу за формулою (1) [13] та річній кількості зерна.

Величина масової витрати (г/с) речовин у вигляді суспендованих твердих частинок недиференційованих за складом від *джерела 4* (зерноочисна установка) визначена згідно фактичних замірів. Розрахунок валового викиду проведено за питомими показниками виділення пилу за [13] та річній кількості зерна.

Розрахунок максимально-разового викиду здійснюється за формулою (8):

$$q_m = V \cdot C / 1000, \text{ г/с} \quad (8)$$

де, V – об’ємна витрата газоповітряної суміші, на виході із ГОУ

C – виміряна масова концентрація забруднювальної речовини в сухих димових газах після ГОУ.

Валовий викид розраховується за формулою (9):

$$M^{\text{ВАЛ}} = q_m \cdot T \cdot 3,6 \cdot 10^{-3}, \text{ т/рік} \quad (9)$$

Розрахунок викидів *джерел № 5 та № 6* проводиться згідно [12], ГКД 34.02.305-2002.

Величина максимально-разового викиду (г/с) оксиди азоту (у перерахунку на діоксид) та оксиду вуглецю визначені згідно фактичних замірів. Для визначення валових (т/рік) викидів використовувались дані річної витрати палива (м³/рік).

2.3. Комп’ютерне моделювання викидів забруднюючих речовин в атмосферу

Розрахунок концентрації в атмосферному повітрі забруднюючих речовин виконується програмним комплексом ЕОЛ+.

Алгоритми програми елементів комплексу реалізують «Методику розрахунку концентрацій в атмосферному повітрі шкідливих речовин, які знаходяться у викидах підприємства» «ОНД-86» [27].

Пошук несприятливих швидкостей вітру здійснюється програмою автоматично виходячи із заданих швидкостей.

Розміри розрахункового майданчика прийнятий 1000×1000 м інтервал розрахункової сітки 50×50 м.

Оцінка впливу викидів забруднюючих речовин на стан забруднення атмосферного повітря здійснюється за показниками результатів розрахунків

розсіювання забруднюючих речовин в атмосферному повітрі та даними, що одержані при проведенні інструментальних методів досліджень.

Для визначення доцільності здійснення розрахунків розсіювання викидів шкідливих забруднюючих речовин в атмосферу, необхідно перевірити рівність щодо «ОНД-86» [27]:

$$\frac{M}{ГДК} > \Phi \text{ при } \Phi=0,1 \text{ при } \bar{H} < 10 \text{ м; } \Phi = 0,01 \bar{H} \text{ при } \bar{H} > 10 \text{ м,}$$

де: М – сумарне значення викиду всіх джерел підприємства, г/с;

ГДК – максимально разова гранично допустима концентрація, мг/м³;

$\bar{H}$ – середньозважена по підприємству висота джерел викиду, м.

Для речовин у вигляді суспендованих твердих частинок, діоксиду азоту та оксиду вуглецю доцільно провести розсіювання (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

Коефіцієнт доцільності проведення розрахунків розсіювання на ЕОМ*

N з/п	Найменування забруднюючої речовини	Доцільність проведення розрахунків розсіювання /так чи ні/ М/ГДК > Φ
1	2	3
1	Речовини у вигляді суспендованих твердих частинок	так
2	Оксиди азоту (оксид та діоксид азоту) у перерахунку на діоксид	так
3	Оксид вуглецю	так

*Джерело: [27].

Недоцільність здійснення розрахунку розсіювання для всіх інших речовин означає, що їх концентрація в приземному шарі не перевищує 0,05 ГДК.

РОЗДІЛ 3

ОЦІНКА ВПЛИВУ ВИКИДІВ ЗЕРНОСУШИЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ НА АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ

3.1. Результати розрахунку викидів забруднюючих речовин в атмосферу

Представимо результати розрахунку викидів забруднюючих речовин в атмосферу із джерела № 1 – зерносушарка. Викид пилогазоповітряної суміші здійснюється із верхньої зони через перфоровану поверхню сушарки. Валовий викид твердих суспендованих частинок становить:

$$M^{BAL} = 10665 \text{ т} \cdot 1,2/100 \cdot 0,01 = 1,28 \text{ т/рік}$$

Максимально-разовий викид твердих суспендованих частинок дорівнює:

$$q_m = 1,28 \text{ т/рік} \cdot 106 / (2304 \text{ год/рік} \cdot 3600) = 0,15 \text{ г/с}$$

Результати розрахунку валових викидів продуктів спалювання палива представлено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Розрахунок валового викиду продуктів спалювання з джерела 1

Назва речовини	E _j тр, т/рік
Діоксид азоту	0,14
Оксид вуглецю	0,51
Діоксид вуглецю	118,34
Оксид діазоту	0,00020
Метан	0,0020
НМЛОС	0,010

Розрахунок максимально-разового викиду продуктів спалювання палива представлено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Розрахунок максимально-разового викиду продуктів спалювання з джерела 1

Назва речовини	M ^{MP} , г/сек
діоксид азоту	0,19
оксид вуглецю	0,70

Викид забруднюючих речовин в атмосферу з джерел № 2 та № 3 (охолоджувач зерносушильного агрегату) здійснюється через металеві трубки (патрубки), висота яких 6 м, діаметр 0,25 м.

Максимально-разовий викид твердих суспендованих частинок джерел № 2 та № 3 рівний відповідно 0,0022 г/с та 0,0020 г/с.

Валовий викид твердих суспендованих частинок з кожного джерела становить:

$$M^{\text{ВАЛ}} = 5332,5 \text{ т} \cdot 0,40/100 \cdot 0,01 = 0,21 \text{ т/рік}$$

Викид забруднюючих речовин джерела № 4 здійснюються через вентвикид після проходження циклону ЦОЛ-6 зерноочисної установки БЦС-50. Параметри на виході з ПГОУ: висота $h = 6$ м, діаметр $d = 0,3$ м. Викид забруднюючих речовин здійснюється через циклон з ефективність очистки ПГОУ – 89,8 %.

Валовий викид твердих суспендованих частинок становть:

$$M^{\text{ВАЛ}} = 0,0084 \text{ г/с} \cdot 2304 \text{ год/рік} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} = 0,070 \text{ т/рік}$$

Максимально-разовий викид твердих суспендованих частинок дорівнює:

$$q_m = 0,0084 \text{ г/с}$$

Викиди джерела № 5 та № 6 здійснюються через димові труби котельного обладнання, від кожного котла. Котли Vaillant, потужністю 24 кВт, та витратою палива 5,8 тис. м³/рік. Параметри на виході з труб: висота $h = 3$ м, діаметр $d = 0,1$ м. Викид димових газів здійснюється за рахунок природної тяги та без очистки викидів. Розрахунок максимально-разового викиду від джерела 5 (котельного обладнання) подано у табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Розрахунок валових та максимально-разових викидів продуктів спалювання з джерела 5

№ з/п	Найменування речовини	Валовий викид E_j , т/рік	Максимально-разовий викид, $M_{\text{м.р.}}$
1	2	3	4
1	Оксиди азоту (у перерахунку на діоксид)	0,0028	0,00043

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4
2	Оксид вуглецю	0,0024	0,00036
Парникові газы			
3	Діоксид вуглецю	11,41	
4	Оксид діазоту	1,9E-05	
5	Неметанові леткі органічні сполуки	0,00097	
6	Метан	0,00019	

Розрахунок максимально-разового викиду від джерела 6 (котельного обладнання) подано у табл. 3.4.

Таблиця 3.4

Розрахунок валових та максимально-разових викидів продуктів спалювання з джерела 6

№ з/п	Найменування речовини	Валовий викид E _j , т/рік	Максимально-разовий викид, М _{м.р.}
1	Оксиди азоту (у перерахунку на діоксид)	0,0027	0,00041
2	Оксид вуглецю	0,0022	0,00033
Парникові газы			
3	Діоксид вуглецю	11,41	
4	Оксид діазоту	1,9E-05	
5	Неметанові леткі органічні сполуки	0,00097	
6	Метан	0,00019	

Максимально-разові викиди NO₂ і CO визначені за замірною концентрацією.

3.2. Аналіз видів та обсягів викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами

У ході дослідження на промисловому майданчику підприємства виявлено 6 стаціонарних джерел викиду забруднюючих речовин в атмосферу, з яких організованих – 5, неорганізованих – 1.

Параметри джерела викиду визначені за фактом з використанням інструментальних замірів, проєктних матеріалів.

Відповідно до переліку найбільш поширених і небезпечних забруднюючих речовин, викиди яких в атмосферне повітря підлягають регулюванню, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 29 листопада 2001 року № 1598 та Переліку забруднюючих речовин та порогових значень потенційних викидів, за якими здійснюється державний облік об'єктів, які справляють або можуть справити шкідливий вплив на здоров'я людей та стан атмосферного повітря, затвердженого наказом Міністерства екології та природних ресурсів України від 10.05.2002 року № 177 та зареєстрованої в міністерстві юстиції 22.05.2002 року за № 445/6733, представимо:

- перелік найбільш поширених забруднюючих речовин та їх обсяги, викиди яких підлягають регулюванню та за якими здійснюється державний облік;
- перелік небезпечних забруднюючих речовин та їх обсяги, викиди яких підлягають регулюванню та за якими здійснюється державний облік;
- перелік інших забруднюючих речовин та їх обсяги, викиди яких підлягають регулюванню та за якими здійснюється державний облік;
- перелік забруднюючих речовин та їх обсяги, для яких не встановлені ГДК (ОБРВ) в атмосферному повітрі населених місць [4].

Порівняльну характеристику фактичних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами із встановленими нормативами на викиди наведено у табл. 3.5.

Таблиця 3.5

Порівняльна характеристика фактичних викидів забруднюючих речовин
стаціонарними джерелами з нормативами на викиди*

Номер джерела викиду	Код забруднюючої речовини	Найменування забруднюючої речовини	Фактичний викид		Норматив гранично-допустимого викиду	
			Масова концентрація в газопиловому потоці, мг/м ³	Величина масового потоку в газах, що відходять, кг/год	Масова концентрація в газопиловому потоці, мг/м ³	Величина масового потоку в газах, що відходять, кг/год
1	2	3	4	5	6	7
	120302	Установки для спалювання < 50 МВт (котлоагрегати)				
5	6000	Оксид вуглецю	42,000	0,001296	250	> 5
	4001	Оксиди азоту (оксид та діоксид азоту) у перерахунку на діоксид азоту	50,000	0,001548	500	> 5
6	6000	Оксид вуглецю	39,000	0,001188	250	> 5
	4001	Оксиди азоту (оксид та діоксид азоту) у перерахунку на діоксид азоту	48,000	0,001476	500	> 5
	210621	Переробка сільськогосподарської продукції				
2	3000	Речовини у вигляді суспендованих твердих частинок, недиференційованих за складом	31,000	0,00792	150	< 0,5
3	3000	Речовини у вигляді суспендованих твердих частинок, недиференційованих за складом	30,000	0,0072	150	< 0,5
4	3000	Речовини у вигляді суспендованих твердих частинок, недиференційованих за складом	30,000	0,0072	150	< 0,5

*Джерело: [14].

Гранично-допустимий викид по речовинам у вигляді суспендованих твердих частинок (мікрочастинки, волокна) встановлено відповідно до вимог чинного законодавства 150 мг/м³.

Величини масової витрати (г/год) оксидів азоту (оксид та діоксид азоту) у перерахунку на діоксид азоту, вуглецю оксид не перевищують встановлених значень, тому гранично-допустимий викид по даних речовинам встановлено по величинам масової витрати, г/с.

Для речовин, на які не встановлено гігієнічні нормативи (вуглецю діоксид, оксид діазоту, НМЛОС), нормативи гранично-допустимих викидів не встановлюються, а викиди не підлягають нормуванню.

Викиди метану, що надходять в атмосферне повітря від спалювальних установок (теплових установок, що споживають органічне паливо і виробляють теплову (електричну) енергію) не регулюються.

На основі обсягів викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря визначено, що досліджуваний зерносушильний комплекс відноситься до 3 групи – об'єкти, які не взяті на державний облік і не мають виробництв або технологічного устаткування, на яких повинні впроваджуватись найкращі доступні технології та методи керування.

3.3. Результати розрахунку приземних концентрацій

на межі СЗЗ та заходи щодо покращення екологічного стану

Межа санітарної зони підприємства відраховується безпосередньо від джерел забруднення атмосфери організованими або неорганізованими джерелами викиду забруднюючих речовин, від споруд та майданчиків, де встановлено обладнання [6].

Відповідно до джерела [6] нормативний розмір санітарно-захисної зони для підприємства становить 100 м, що відповідає 4 класу санітарної

класифікації (млини, крупорушки, зернообдиральні підприємства та комбікормові заводи).

Достатність розмірів СЗЗ для виробничої бази комплексу перевірена розрахунком приземних концентрацій.

Очікувані концентрації забруднюючих речовин, в зоні впливу підприємства не перевищують гігієнічних нормативів. Якість атмосферного повітря на межі нормативної СЗЗ та житлової забудови відповідає граничнодопустимому вмісту забруднюючих речовин при якому відсутній негативний вплив на здоров'я людини та на стан навколишнього природного середовища.

Фактична СЗЗ для підприємства встановлюється рівною нормативній – 100 метрів.

У СЗЗ відсутні дитячі дошкільні заклади, школи, лікувально-профілактичні установи, спортивні споруди, охоронні зони джерел водопостачання.

Оцінка впливу викидів забруднюючих речовин на стан забруднення атмосферного повітря здійснюється за даними результатів розрахунків розсіювання.

Показники концентрацій шкідливих забруднюючих речовин у приземному шарі атмосферного повітря на межі СЗЗ розміром 100 м, становлять:

Оксид вуглецю	0,18 ГДК
Суспендовані тверді частинки	0,37 ГДК
Діоксид азоту	0,48 ГДК

Показники концентрацій шкідливих забруднюючих речовин у приземному шарі атмосферного повітря на межі СЗЗ, розміром 100 м, з урахуванням фонового забруднення, є наступними:

Оксид вуглецю	$0,18 + 0,4 = 0,58$ ГДК
Суспендовані тверді частинки	$0,37 + 0,4 = 0,77$ ГДК
Діоксид азоту	$0,26 + 0,4 = 0,66$ ГДК

З метою попередження перевищення встановлених нормативів ГДВ зерносушильному комплексу необхідно 1 раз на рік здійснювати контроль за викидами шкідливих забруднюючих речовин в атмосферу згідно графіку.

Отже, концентрації шкідливих забруднюючих речовин в атмосфері, з урахуванням наявного фонового забруднення, на межі нормативної СЗЗ не перевищують гігієнічних норм.

Якість атмосферного повітря на межі СЗЗ відповідає граничнодопустимому вмісту шкідливих забруднюючих речовин, при котрому відсутній сторонній негативний вплив на здоров'я людей, а також на стан довкілля [6].

Однак, враховуючи наявність викидів та техноекологічні особливості функціонування зерносушильних комплексів, необхідно розробити й упровадити комплекс заходів, спрямованих на мінімізацію негативного впливу на атмосферне повітря. До таких заходів можна віднести:

1) *Встановлення сучасних систем очищення викидів.* Для зниження рівня викидів пилу, дрібнодисперсних частинок і продуктів згоряння доцільним є впровадження багатоступеневих фільтраційних систем. До найефективніших із них належать: циклонні пиловловлювачі, які забезпечують видалення великих і середніх фракцій пилу; рукавні фільтри, що ефективно вловлюють дрібнодисперсні частинки; електрофільтри, які затримують найдрібніші частинки завдяки електризації та осадженню на електродах. Такі комбіновані системи дозволяють зменшити концентрацію шкідливих речовин у викидах на 85–95 % [33].

2) *Оптимізація процесу сушіння.* Важливо контролювати температурний режим та час сушіння зерна, оскільки надмірне нагрівання призводить до підвищення обсягів шкідливих викидів. Застосування систем автоматичного регулювання температури сушильного середовища та вологості зерна дозволяє: знизити витрати енергоресурсів, забезпечити рівномірність сушіння, мінімізувати утворення вторинних забруднюючих речовин.

3) *Перехід на альтернативні джерела енергії.* Використання виключно природного газу як палива хоча і є відносно чистим способом енергозабезпечення, однак існує потенціал подальшого покращення. Перспективними напрямками є: застосування біомаси (агровідходи, деревні пелети), впровадження гібридних енергосистем із використанням сонячної енергії для попереднього підігріву повітря, експлуатація теплових насосів у складі сушильних установок. Ці технології сприяють суттєвому зниженню викидів CO₂ та оксидів азоту [26; 44; 46].

4) *Регулярне технічне обслуговування та модернізація обладнання.* Старе та зношене обладнання не лише збільшує енергоспоживання, а й погіршує екологічні показники. Регулярна діагностика пальників, вентиляторів, теплогенераторів та сушильних камер дозволяє: своєчасно виявляти несправності, підтримувати ефективність горіння палива, запобігати несанкціонованим викидам шкідливих речовин.

5) *Впровадження технологій рекуперації тепла.* Значну частину теплової енергії в зерносушильних комплексах втрачається разом із викидними газами. Застосування рекуператорів дає можливість: зменшити потребу у додатковій енергії на нагрівання повітря, знизити інтенсивність процесів горіння та, відповідно, обсяги викидів забруднюючих речовин.

6) *Оптимізація логістики сушіння.* Доцільно впроваджувати сортування зерна за вологістю перед сушінням та розділення партій відповідно до необхідного ступеня зневоднення. Це дає змогу: уникати надлишкового нагріву, скорочувати час сушіння, зменшити витрати енергії та супутні викиди.

7) *Використання інноваційних методів сушіння.* Застосування комбінованих способів сушіння (інфрачервоне випромінювання, мікрохвильова енергія, ультразвукові технології) дозволяє: скоротити тривалість процесу, зменшити температуру сушіння, суттєво знизити загальне енергоспоживання й обсяг шкідливих викидів [46].

8) *Підвищення кваліфікації персоналу.* Навчання операторів зерносушильних комплексів сучасним методам енергозбереження та екологічного менеджменту сприяє: зменшенню помилок під час експлуатації, підвищенню ефективності технологічних процесів, дотриманню екологічних норм та стандартів.

ВИСНОВКИ

Головні наукові результати дослідження полягають у наступному:

1. Зерносушильні комплекси відіграють важливу роль у післязбиральній обробці зернових культур, забезпечуючи необхідний рівень вологості зерна для подальшого зберігання та реалізації. Проте інтенсивна робота зерносушильних установок супроводжується значним антропогенним впливом на навколишнє середовище. Негативні наслідки їх функціонування проявляються у збільшенні викидів забруднювальних речовин, надмірному енергоспоживанні, шумовому забрудненні, утворенні теплових викидів, а також у деградації якості атмосферного повітря в межах промайданчиків та прилеглих територій.

2. Впровадження інноваційних рішень у процес сушіння зернових культур сприятиме зниженню витрат на сушіння та досягненню позитивного екологічного ефекту за рахунок зменшення викидів токсичних речовин у повітря робочої зони. Серед інноваційних підходів, що дозволяють скоротити експлуатаційні витрати сушильного обладнання, варто відзначити застосування систем теплообміну (теплообмінників) та заміну теплоносія, наприклад, перехід із газу на біомасові відходи. Використання каталізаторів горіння для очищення вихлопних газів газових пальників або котлів на біомасі забезпечить екологічно безпечну роботу сушарок.

3. Виробничою базою досліджуваного зерносушильного комплексу є майданчик розташований у Горохівському районі Волинської області. Сушіння зерна відбувається в сушильній колоні димовими газами в автоматизованому режимі.

4. У ході дослідження на промисловому майданчику підприємства виявлено 6 стаціонарних джерел викиду забруднюючих речовин в атмосферу, з яких організованих – 5, неорганізованих – 1. Забруднюючі речовини, що утворюються при роботі установки: речовини у вигляді суспендованих твердих частинок недиференційованих за складом, оксиди азоту, оксид

вуглецю, парникові гази: метан, діоксид вуглецю, оксид діазоту, неметанові леткі органічні сполуки.

5. Максимальні одноразові та валові викиди в атмосферне повітря визначалися шляхом аналізу результатів інструментальних вимірювань, аналітичних розрахунків, проєктних даних та технологічних нормативів. Річний робочий фонд обладнання та максимальна кількість одночасно працюючих джерел викидів визначалася на основі аналізу технологічних процесів, коефіцієнтів завантаження обладнання, продуктивності окремих підрозділів підприємства та залежала від обсягу використаної сировини.

6. Для розрахунку концентрації забруднюючих речовин у повітрі використовувався програмний комплекс ЕОЛ+. Його алгоритми відповідають «Методиці розрахунку концентрацій шкідливих речовин у викидах підприємства». Оцінка впливу викидів на стан повітря проводилася на основі результатів розрахунків розповсюдження забруднюючих речовин та даних, отриманих за допомогою інструментальних досліджень.

7. У роботі здійснено розрахунки максимально-разових та валових викидів забруднюючих речовин.

8. Усього стаціонарними джерелами підприємства в атмосферне повітря викидається 143 т/рік забруднюючих речовин. На основі обсягів викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря об'єкт відноситься до 3 групи підприємств.

9. Концентрації забруднюючих речовин в атмосферному повітрі, із врахуванням існуючого фонового забруднення, на межі нормативної санітарно-захисної зони не перевищують гігієнічних нормативів. Однак упровадження енергоефективних та природоохоронних технологій є необхідною умовою зменшення впливу на довкілля та досягнення цілей сталого розвитку аграрного сектору.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Активне вентилування та сушіння зерна : навч. посіб. / О. І. Гапонюк, М. В. Остапчук, Г. М. Станкевич, І. І. Гапонюк. Одеса: ВМВ, 2014. 326 с.
2. Гаврисюк О. І., Караїм О. А. Екологічні аспекти функціонування зерносушильного комплексу. *Сучасна наука та освіта Волині* : матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених (22 травня 2025 року). Луцьк. 2025. С. 365–366.
3. ГДК 34.02.305-2002. Викиди забруднювальних речовин в атмосферу від енергетичних установок. Методика визначення. 44 с.
4. ГДК та ОБРВ забруднюючих речовин в атмосферному повітрі населених місць. 56 с.
5. Гранично-допустимі (ГДК) та орієнтовно безпечні рівні впливу (ОБРВ) забруднюючих речовин в атмосферному повітрі населених місць. Київ, 2000 р. 48 с.
6. Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів №173 від 19.06.1996 р. (ДСП № 173). 51 с.
7. ДСТУ 8725:2017. Якість повітря. Викиди стаціонарних джерел. Методи визначення швидкості та об'ємної витрати газопилових потоків. 50 с.
8. ДСТУ 8726:2017 Якість повітря. Викиди стаціонарних джерел. Методи визначення тиску та температури газопилових потоків. 19 с.
9. Збірник із розрахунку вмісту забруднюючих речовин у викидах від неорганізованих джерел забруднення атмосфери. Донецьк, 2004. 155 с.
10. Збірник методик із розрахунку викидів в атмосферу забруднюючих речовин різними виробництвами. Л., 1986. 142 с.
11. Збірник методик із розрахунку вмісту забруднюючих речовин у викидах неорганізованих джерел забруднення атмосфери. ОАО «УкрНТЕК». Донецьк, 1994 р. 125 с.
12. Збірник показників емісії (питомих викидів) забруднюючих речовин в атмосферне повітря різними виробництвами, Український науковий центр

технічної екології. Донецьк, 2004. Том I. 184 с.

13. Збірник показників емісії (питомих викидів) забруднюючих речовин в атмосферне повітря різними виробництвами, Український науковий центр технічної екології. Донецьк, 2004. Том III. 220 с.

14. Звіт із інвентаризації викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря зерносушильним комплексом. 2020. 30 с.

15. Інструкція із експлуатації газоаналізатора ОКCI-5М-5Н. Харків. 2010. 16 с.

16. Караїм В. П., Милько І. П., Караїм О. А. Особливості оцінки впливу підприємства на довкілля за умови впровадження системи екологічного менеджменту. *Молода наука Волині: пріоритети та перспективи досліджень*: матеріали XVI Міжн. наук.-практ. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених (17 травня 2022 року). Луцьк: ВНУ імені Лесі Українки, 2022. С. 229–231.

17. Караїм О. А., Бакараєв О. А., Хомацький В. М. Техноекологічні аспекти розрахунку викидів забруднюючих речовин підприємством. *Актуальні проблеми хімії, матеріалознавства та екології*: матеріали I Міжн. наук. конф. (Луцьк, 1–3 червня 2022 року). Луцьк: ВНУ імені Лесі Українки, 2022. С. 130–132.

18. КНД 211.2.3.014-95. «Інструкція про зміст та порядок складання звіту проведення інвентаризації викидів забруднюючих речовин на підприємстві». 10 с.

19. КНД 211.2.3.063-98. Метрологічне забезпечення. Відбір проб промислових викидів. 18 с.

20. Кондратенко І. П., Лисенко В. П., Березюк, А. О., Комарчук, Д. С. Індукційна установка для термообробки зерна ріпаку. *Вісник аграрної науки*. (12). 2012 р. С. 55–58.

21. МВВ № 081/12-0161-05. Викиди газопилові промислові. Методика виконання вимірювань масової концентрації речовини у вигляді суспендованих твердих частинок в організованих викидах стаціонарних

джерел гравіметричним методом. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=76450

22. Методика визначення інвентаризації викидів забруднюючих речовин в атмосферу для автотранспортних підприємств (розрахунковим методом). 1998 р. 67 с.

23. Методичні вказівки щодо визначення викидів забруднюючих речовин в атмосферу із резервуарів. 1999 р. 64 с.

24. Методичний посібник із розрахунку викидів від неорганізованих джерел у промисловості будівельних матеріалів. 1985 р. 18 с.

25. Методичний посібник із розрахунку, нормування та контролю викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря (Доповнене та перероблене). СП, 2012. 58 с.

26. Омаров І. С., Цивенкова Н. М. Практичні результати сушіння зернових генераторним газом. Аграрна енергетика в ХХІ сторіччі: досягнення і перспективи розвитку : матеріали ІІ Міжн. наук.-практ. конф. (14 грудня 2023 року). Білоцерківський НАУ. 2023. С. 104–110. URL: https://science.btsau.edu.ua/sites/default/files/tezy/tezy_agr_ener_xxi_14.12.2023.pdf#page=104

27. ОНД-86. Методика розрахунку концентрацій у атмосферному повітрі шкідливих речовин, які у викидах підприємств. Л., 1987. 68 с.

28. Паламарчук І. П., Цуркан О. В., Присяжнюк Д. В., Полєвода Ю. А. Обґрунтування схеми віброозонуючої сушарки для післязбиральної обробки зерна. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. № 22. 2016. С. 151–156.

29. Піскарьов О. М., Мусієнко Д. В. Сучасні системи автоматизації обробки зерна. *Матеріали ХІХ міжнародного форуму молоді «Молодь і індустрія в ХХІ столітті»*. 2023 р. С. 219.

30. Показники емісії (питомі викиди) забруднюючих речовин від процесів електро-, газозварювання, наплавлювання, електро-, газорізання та напилення металів, розроблені Інститутом гігієни та медичної екології ім.

О. М. Марзеєва АМН України та затверджені Мінекоресурсів України 11.01.2003 р. 15 с.

31. Постнікова М. В. Енергозберігаючі режими роботи електромеханічних систем обробки зерна на зернопунктах. Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи. 2011. 26 с. URL: <http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/7081>

32. Про затвердження переліку найбільш поширених і небезпечних забруднюючих речовин, викиди яких в атмосферне повітря підлягають регулюванню. Постанова Кабінету Міністрів України від 29.11.2001 р. № 1598. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1598-2001-%D0%BF>

33. Промислова екологія : навч. посіб. / С. О. Апостолук, В. С. Джигирей, І. А. Соколовський та ін. 2-ге вид., виправл. і доповн. К. : Знання, 2012. 430 с.

34. Про оцінку впливу на довкілля. Закон України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/2059-19>

35. РД 52.04.59-85. Вимоги до точності контролю за промисловими викидами. Методичні вказівки. 54 с.

36. РД 0212.4-2002. Розрахунок викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від неорганізованих джерел виділення пилу на зернопереробних підприємствах та елеваторах. Мінськ. 2002. 69 с.

37. Спирін А. В., Твердохліб І. В. Шум як ергономічний фактор виробничого процесу. Наукові праці Вінницького національного технічного університету. 2023. № 4. DOI: <https://doi.org/10.31649/2307-5376-2023-4-8-16>

38. Типова методика визначення викидів від основних виробництв за галузями промисловості. Основні положення. Київ. 2000 р. 16 с.

39. Філіна О. М., Дюдяєва О. А. Стан реалізації міжнародних вимог щодо оцінки впливу на довкілля для окремих видів планової діяльності. *Матеріали III Міжн. наук.-практ. конф. «Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого*

розвитку» (22–23 жовтня 2020, м. Херсон, Україна). Херсон, 2020. С. 616–618.

40. Air pollution and child health: prescribing clean air : summary / World Health Organization. Geneva : WHO, 2018. 36 p. URL: <https://chatgpt.com/c/6809e0cb-1360-8013-8312-58c185e7f426>

41. Ashkan Nabavi-Pelesaraei, Shahin Rafiee, Seyed Saeid Mohtasebi, Homa Hosseinzadeh-Bandbafha, Kwok-wing Chau. Comprehensive model of energy, environmental impacts and economic in rice milling factories by coupling adaptive neuro-fuzzy inference system and life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*. Volume 217. 2019. P. 742–756. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.228>.

42. Chen Z., Zhao S., Rao Z., Zhang R. Experimental Study on Low-resistance Venturi Water Film Cyclone with Vibrating String Grid. *Jordan Journal of Civil Engineering*. № 14(3). 2020. P. 295.

43. Czajkowska A. Installations for cleaning exhaust fumes from dust–gas pollutants. *Environmental Protection and Natural Resources*. № 29(4), 2018. P. 26–32. DOI: <https://doi.org/10.2478/oszn-2018-0019>

44. Fudholi A., Sopian K., Ruslan M. H., Alghoul M. A., Sulaiman M.Y., Review of solar dryers for agricultural and marine products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 14. Issue 1. 2010. P. 1–30. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.07.032>.

45. Gopan A., Verma P., Yang Z., Axelbaum R. L. Quantitative analysis of the impact of flue gas recirculation on the efficiency of oxy-coal power plants. *Int. J. Greenh. Gas Control*. № 95. 2020. 102936. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2019.102936>

46. Hasan Tarek Mondal, Sazzat Hossain Sarker. Comprehensive energy analysis and environmental sustainability of industrial grain drying. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 199. July 2024. 114442. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114442>

47. Heikki T. Jokiniemi, Jukka M. Ahokas, Drying process optimisation in a mixed-flow batch grain dryer. *Biosystems Engineering*. Volume 121. 2014. P. 209–220. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2014.01.002>.

48. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 2: Energy. 2023. URL: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>

49. Jabłońska M., Palkovits R. It is no laughing matter: nitrous oxide formation in diesel engines and advances in its abatement over rhodium-based catalysts. *Catal. Sci. Technol.* № 6. 2016. P. 7671–7687. DOI: <https://doi.org/10.1039/c6cy01126h>

50. Katarzyna Chojnacka, Katarzyna Mikula, Grzegorz Izydorczyk, Dawid Skrzypczak, Anna Witek-Krowiak, Konstantinos Moustakas, Wojciech Ludwig, Marek Kułażyński, Improvements in drying technologies – Efficient solutions for cleaner production with higher energy efficiency and reduced emission. *Journal of Cleaner Production*. Volume 320. 2021. 128706. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128706>.

51. Liu J., Zhu F., Ma X. Industrial application of a deep purification technology for flue gas involving phase-transition agglomeration and dehumidification. *Engineering*. № 4. 2018. P. 416–420. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eng.2018.05.009>

52. Liu Z., He F., Ma L., Peng S. Recent advances in catalytic decomposition of N₂O on noble metal and metal oxide catalysts. *Catal. Surv. Asia*. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10563-016-9213-y>

53. Mohammad Hariz Abdul Rahman, Sau Soon Chen, Putri Razreena Abdul Razak, Nurul Ain Abu Bakar, Mohammad Shahid Shahrin, Norziana Zin Zawawi, Azzami Adam Muhamad Mujaib, Fazlyzan Abdullah, Fauzi Jumat, Rahiniza Kamaruzaman, Shamsul Amri Saidon, Shaidatul Azdawiyah Abdul Talib. Life cycle assessment in conventional rice farming system: Estimation of greenhouse gas emissions using cradle-to-gate approach. *Journal of Cleaner Production*. Volume 212. 2019. P. 1526–1535. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.062>.

54. Seyed Hashem Samadi, Barat Ghobadian, Gholamhassan Najafi, Ali Motevali. Potential saving in energy using combined heat and power technology for drying agricultural products (banana slices). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. Volume 13, Issue 2. 2014. P. 174–182. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2013.09.001>.

55. Sinha Majumdar S., Celik, G., Alexander A. M., Gawade P., Ozkan U. S. In-situ incorporation of binder during sol-gel preparation of Pd-based sulfated zirconia for reduction of nitrogen oxides under lean-burn conditions: effect on activity and wash-coating characteristics. *Appl. Catal. B Environ.* № 202. 2017. P. 134–146. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2016.08.062>

56. Styszko, K., Samek, L., Szramowiat, K. et al. Oxidative potential of PM₁₀ and PM_{2.5} collected at high air pollution site related to chemical composition: Krakow case study. *Air Qual Atmos Health* 10. 2017. P. 1123–1137. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11869-017-0499-3>

57. Xinzhuang Gu, Jianguo Dai, Haifeng Li, Yanjun Dai, Experimental and theoretical assessment of a solar assisted heat pump system for in-bin grain drying: A comprehensive case study. *Renewable Energy*. Volume 181. 2022. P. 426–444. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.09.049>.

ДОДАТКИ

Додаток А

Технічна характеристика підприємства*

№ Дже- рела	Джерело	Обладнання	Витрата	Примітка, фонд робочого часу обладнання
1	Зерносушильний агрегат	Зерносушильна установка марки SUKUP TE2052E	Зерно – 10665 т/рік Річна витрата палива: Природний газ – 60 тис.м ³ /рік	2304 год/рік
2, 3	Охолоджувач зерносушильного агрегату	Охолоджувач зерносушильного агрегату	Зерно – 10665 т/рік	2304 год/рік
4	Зерноочисна установка	Зерноочисна установка БЦС-50	Зерно – 10665 т/рік	2304 год/рік
5,6	Паливна	Котли Vaillant (2 шт.) (P = 24 кВт)	Природний газ – 5,8 тис.м ³ /рік (на кожен)	2244 год/рік