

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

(повне найменування закладу вищої освіти)

Навчально-науковий інститут нафти і газу та енергетики

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра прикладної екології та хімії

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

бакалавр

(ступінь вищої освіти)

на тему **Розробка пропозицій техніко-екологічної модернізації котельні
гімназії у Великобагачанській громаді**

Виконав: студент 4 курсу, групи 401-ВТ
спеціальності 183 «Технології захисту
навколишнього середовища»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Ярошенко Я.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник Бредун В.І.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Поліщук Д.В.

(прізвище та ініціали)

Полтава - 2026 рік

РЕФЕРАТ

кваліфікаційної роботи бакалавра

«Розробка пропозицій техніко-екологічної модернізації котельні гімназії у Великобагачанській громаді»

Робота містить 68 сторінки, 2 ілюстрації, 9 таблиць, 38 використаних джерел.

Ключові слова: котельня, техніко-екологічна модернізація, природний газ, викиди забруднюючих речовин, екологічна безпека, атмосферне повітря, енергоефективність, моніторинг.

Об'єктом кваліфікаційної роботи бакалавра є котельня Радивонівської гімназії, оснащена газовим водогрійним котлом МАЯК АОГВ-100Е.

Предметом кваліфікаційної роботи бакалавра є технічні та екологічні показники роботи котельні та шляхи їх покращення шляхом модернізації обладнання й впровадження природоохоронних заходів.

Метою кваліфікаційної роботи бакалавра є оцінка техногенного впливу котельні на навколишнє середовище та розроблення комплексу техніко-екологічних заходів, спрямованих на підвищення екологічної безпеки та енергоефективності її функціонування.

У роботі проведено аналіз техніко-економічних характеристик котельні, досліджено технологічний процес виробництва теплової енергії та визначено основні джерела утворення забруднюючих речовин. Виконано оцінку рівня забруднення атмосферного повітря, розраховано кількісні та якісні характеристики викидів, проведено моделювання їх розсіювання в приземному шарі атмосфери та порівняння отриманих результатів із гранично допустимими концентраціями.

Особливу увагу приділено аналізу екологічної безпеки в надзвичайних ситуаціях, визначенню небезпечних і шкідливих факторів під час експлуатації котельного обладнання та розробленню заходів щодо попередження аварійних ситуацій.

Результатом роботи є оцінка екологічного впливу котельні Радивонівської гімназії на довкілля та розроблення рекомендацій щодо підвищення її енергоефективності й екологічної безпеки. Запропоновано технічні рішення щодо зменшення викидів забруднюючих речовин, удосконалення системи екологічного моніторингу та впровадження заходів з модернізації котельного обладнання.

ABSTRACT

bachelor's qualification work

«Development of proposals for the technical and environmental modernisation of the gymnasium's boiler house in the Velyka Bahachka community»

The paper comprises 68 pages, 2 illustrations, 7 tables and 38 references.

Keywords: boiler room, technical and environmental modernisation, natural gas, pollutant emissions, environmental safety, ambient air, energy efficiency, monitoring.

The subject of this bachelor's thesis is the boiler house at Radivonivska Gymnasium, equipped with a MAYAK AOGV-100E gas-fired water-heating boiler.

The subject of this bachelor's thesis is the technical and environmental performance indicators of the boiler room and ways to improve them through equipment modernisation and the implementation of environmental protection measures.

The aim of this bachelor's thesis is to assess the boiler room's anthropogenic impact on the environment and to develop a set of technical and environmental measures aimed at improving the environmental safety and energy efficiency of its operation.

The thesis analyses the technical and economic characteristics of the boiler house, examines the technological process of heat production, and identifies the main sources of pollutant formation. An assessment of the level of atmospheric air pollution was carried out, the quantitative and qualitative characteristics of emissions were calculated, their dispersion in the surface layer of the atmosphere was modelled, and the results obtained were compared with the maximum permissible concentrations.

Particular attention was paid to analysing environmental safety in emergency situations, identifying hazardous and harmful factors during the operation of boiler equipment, and developing measures to prevent accidents.

The outcome of this work is an assessment of the environmental impact of the Radivonivska Gymnasium's boiler house and the development of recommendations for improving its energy efficiency and environmental safety. Technical solutions have been proposed to reduce pollutant emissions, improve the environmental monitoring system and implement measures to modernise the boiler equipment.

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Навчально-науковий інститут нафти і газу
Кафедра прикладної екології та природокористування
Рівень вищої освіти бакалавр
Спеціальність 183 «Технології захисту навколишнього середовища»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

(О.Е. Ілляш)

(підпис)

(ПІБ)

2026 року

(дата)

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

ЯРОШЕНКА ЯРОСЛАВА СЕРГІЙОВИЧА

1. Тема роботи **«Розробка пропозицій техніко-екологічної модернізації котельні гімназії у Великобагачанській громаді»**

Керівник роботи **Бредун Віктор Іванович, к.т.н., доцент,**

затверджені наказом Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка від “ 3 ” березня 2026 року № 273-ф .

2. Строк подання студентом роботи 08.06.2026
(дата)

3. Вихідні дані до роботи

1. Технічна та експлуатаційна документація котельні Радивонівської гімназії, паспорт водогрійного газового котла МАЯК АОГВ-100Е.

2. Нормативно-правова база України у сфері охорони атмосферного повітря, поводження з відходами та енергозбереження.

3. Кліматичні та метеорологічні характеристики району розташування, генеральний план забудови території гімназії.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Розділ 1. Характеристика об'єкта та аналіз його техногенного впливу. Розділ 2. Оцінка рівня забруднення довкілля від роботи котельні. Розділ 3. Екологічна безпека в надзвичайних ситуаціях. Розділ 4. Технологічні заходи щодо зменшення екологічної небезпеки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1) Актуальність, мета та завдання досліджень 2) Характеристика котельні та котла МАЯК АОГВ-100Е 3) ідентифікація джерел утворення забруднюючих

речовин 4) розрахунок характеристик викидів 5) моделювання розсіювання та порівняння з гдк 6) небезпечні фактори в умовах НС 7) заходи щодо запобігання надзвичайним ситуаціям 8) технологічні заходи: методи очищення 9) розрахунок циклону цн-15 10) рекомендації: конденсаційні економайзери 11) загальні висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Постановка завдань дослідження техногенного впливу котельні, визначення об'єкта та предмета розробки.	27.04.26 – 05.05.26	
2	Аналіз параметрів котла МАЯК АОГВ-100Е, технології теплогенерації та джерел викидів.	06.05.26 – 14.05.26	
3	Розрахунок масових викидів, моделювання їх розсіювання та порівняння з санітарними нормативами.	15.05.26 – 24.05.26	
4	Оцінка факторів вибухонебезпеки та розроблення алгоритмів протиаварійного захисту.	25.05.26 – 03.06.26	
5	Розрахунок параметрів циклона ЦН-15 та обґрунтування застосування конденсаційних економайзерів.	04.06.26 – 12.06.26	
6	Систематизація даних та оцінка ефективності запропонованих техніко-екологічних рішень.	13.06.26 – 21.06.26	

Студент

(підпис)

Я.С. Ярошенко

Керівник роботи

(підпис)

В.І. Бредун

Зміст

ВСТУП	10
РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ТА АНАЛІЗ ЙОГО ТЕХНОГЕННОГО ВПЛИВУ	12
1.1. Техніко-економічна характеристика котельні (тип котлів, вид палива, режим роботи).	12
1.2. Опис технологічного процесу виробництва теплової енергії.	17
1.3. Ідентифікація джерел утворення забруднюючих речовин (викиди в атмосферу, відходи шлаку/золи, теплові викиди).	20
1.4. Аналіз існуючої системи екологічного моніторингу на підприємстві.	22
РОЗДІЛ 2. ОЦІНКА РІВНЯ ЗАБРУДНЕННЯ ДОВКІЛЛЯ ВІД РОБОТИ КОТЕЛЬНІ	25
2.1. Розрахунок кількісних та якісних характеристик викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря (оксиди азоту, діоксид сірки, оксид вуглецю, пил).	25
2.2. Моделювання розсіювання забруднюючих речовин у приземному шарі атмосфери (з урахуванням рози вітрів та щільності забудови).	27
2.3. Оцінка впливу на стан ґрунтів та підземних вод внаслідок складування твердих відходів згоряння (золи).	31
2.4. Порівняння фактичних концентрацій з гранично допустимими (ГДК).	34

					401 – ВТ №10291701 ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>Розробка пропозицій техніко-екологічної модернізації котельні гімназії у Великобагачанській громаді</i>	Літ.	Арк.	Акрушіє		
<i>Розроб.</i>	<i>Ярошенко Я.С.</i>	<i>Бредун В.І.</i>	<i>Н. Контр.</i>	<i>Затверд.</i>		<i>Ілляш О.Е.</i>	8	68	<i>Національний університет ім. Юрія Кондратюка</i>	
<i>Керівник</i>	<i>Бредун В.І.</i>	<i>Н. Контр.</i>	<i>Затверд.</i>	<i>Ілляш О.Е.</i>						
<i>Н. Контр.</i>	<i>Затверд.</i>	<i>Ілляш О.Е.</i>								

РОЗДІЛ 3. ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ... 37	
3.1. Аналіз небезпечних та шкідливих факторів в умовах надзвичайної ситуації	37
3.2. Заходи щодо запобігання надзвичайним ситуаціям у котельні.	43
РОЗДІЛ 4. ТЕХНОЛОГІЧНІ ЗАХОДИ ЩОДО ЗМЕНШЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ НЕБЕЗПЕКИ.....	50
4.1. Обґрунтування вибору методів очищення димових газів від газоподібних та твердих домішок	50
4.2. Розрахунок та проектування очисного обладнання	54
4.3. Рекомендації щодо переведення котельні на екологічно безпечніші види палива (біомаса, пелети) або встановлення конденсаційних економайзерів	57
ВИСНОВКИ.....	62
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	66

					401 – ВТ №10291701 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Ярошенко Я.С.			<i>Розробка пропозицій техніко-екологічної модернізації котельні гімназії у Великобагачанській громаді</i>	Літ.	Арк.	Аркушів
Керівник		Бредун В.І.					9	68
Н. Контр.						<i>Національний університет ім. Юрія Кондратюка</i>		
Затверд.		Ілляш О.Е.						

ВСТУП

Сучасний розвиток енергетичної галузі України супроводжується зростанням вимог до ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки об'єктів тепlopостачання. Одними з найбільш поширених джерел теплової енергії для закладів освіти, охорони здоров'я та житлово-комунального господарства є котельні установки, які працюють на природному газі. Незважаючи на відносно високі екологічні характеристики газового палива порівняно з твердим паливом, процес його спалювання супроводжується утворенням забруднюючих речовин, що негативно впливають на стан атмосферного повітря та навколишнього природного середовища.

Особливої актуальності набуває питання техніко-екологічної модернізації котельень закладів освіти, оскільки вони розташовані безпосередньо в населених пунктах та функціонують поблизу місць постійного перебування дітей і працівників. Раціональне використання енергоресурсів, зменшення шкідливих викидів та підвищення енергетичної ефективності обладнання є важливими напрямками забезпечення сталого розвитку освітніх установ та виконання вимог природоохоронного законодавства України.

Об'єктом дослідження є котельня Радивонівської гімназії, оснащена газовим водогрійним котлом МАЯК АОГВ-100Е тепловою потужністю 100 кВт.

Предметом дослідження є технічні та екологічні показники роботи котельні.

Метою роботи є оцінка техногенного впливу котельні Радивонівської гімназії на навколишнє середовище та розроблення комплексу техніко-екологічних заходів, спрямованих на підвищення екологічної безпеки й енергоефективності її функціонування.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**:

- надати техніко-економічну характеристику котельні Радивонівської

гімназії;

- дослідити технологічний процес виробництва теплової енергії;
- визначити основні джерела утворення забруднюючих речовин у процесі роботи котельного обладнання;
- провести аналіз існуючої системи екологічного моніторингу;
- розрахувати кількісні та якісні характеристики викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря;
- виконати оцінку поширення забруднюючих речовин у приземному шарі атмосфери;
- проаналізувати вплив діяльності котельні на стан ґрунтів та підземних вод;
- порівняти отримані результати з чинними нормативами гранично допустимих концентрацій;
- дослідити небезпечні та шкідливі фактори, які можуть виникати під час аварійних ситуацій;
- розробити заходи щодо попередження надзвичайних ситуацій;
- обґрунтувати вибір технологій очищення димових газів;
- запропонувати шляхи підвищення екологічності та енергоефективності котельні.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання запропонованих технічних та природоохоронних заходів для підвищення ефективності роботи котельні Радивонівської гімназії, зменшення обсягів викидів забруднюючих речовин, скорочення витрат паливно-енергетичних ресурсів та покращення екологічного стану прилеглої території.

Структура роботи складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ТА АНАЛІЗ ЙОГО ТЕХНОГЕННОГО ВПЛИВУ

1.1. Техніко-економічна характеристика котельні (тип котлів, вид палива, режим роботи).

Котельня Радивонівської гімназії є об'єктом локальної системи теплопостачання, що забезпечує потреби навчального закладу в тепловій енергії для опалення навчальних приміщень, адміністративних зон та допоміжних будівель (за наявності підключення). Основне призначення котельні полягає у стабільному та безперебійному забезпеченні нормативного температурного режиму в будівлі гімназії відповідно до санітарно-гігієнічних вимог у холодний період року.

У котельні встановлено водогрійний газовий котел МАЯК АОГВ-100Е з номінальною тепловою потужністю 100 кВт. Дане обладнання належить до категорії побутових та малопотужних комунальних котлів, які широко застосовуються в системах автономного теплопостачання об'єктів соціальної сфери. Конструкція котла передбачає спалювання палива у закритій топковій камері з подальшою передачею теплової енергії через теплообмінник до теплоносія (води), який циркулює у системі опалення будівлі.

Котел оснащений автоматикою безпеки та регулювання, що забезпечує контроль процесу горіння, стабілізацію температури теплоносія, а також захист від аварійних режимів роботи (перегрів, відсутність тяги, згасання полум'я). Завдяки цьому експлуатація котельні є відносно безпечною та не потребує постійної присутності великого штату обслуговуючого персоналу.

Як паливо використовується природний газ, який є одним із найбільш ефективних та екологічно відносно безпечних видів органічного палива. Основними перевагами природного газу є висока теплота згорання, стабільність процесу горіння, відсутність необхідності у складній підготовці

палива, а також значно нижчий рівень утворення твердих забруднюючих речовин у порівнянні з вугіллям або мазутом. Водночас навіть при спалюванні природного газу утворюються викиди забруднюючих речовин, зокрема оксиди азоту (NO_x), оксид вуглецю (CO), а також діоксид вуглецю (CO_2), який є парниковим газом і впливає на глобальні кліматичні процеси.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики котельної установки МАЯК АОГВ-100Е

Показник	Значення
Тип котла	Водогрійний газовий
Модель	МАЯК АОГВ-100Е
Номінальна теплова потужність	100 кВт
Вид палива	Природний газ
ККД	85–92 %
Температура теплоносія (подача)	60–90 °С
Тип системи	Закрита, водяна
Спосіб циркуляції	Примусовий (насосний)
Система регулювання	Автоматична/напівавтоматична
Відведення продуктів згоряння	Через димову трубу
Режим роботи	Сезонний (опалювальний період)
Категорія об'єкта	Комунальна котельня

Річне споживання палива котельнею залежить від площі опалюваних приміщень, рівня теплоізоляції будівлі, кліматичних умов регіону та тривалості опалювального періоду. Для об'єктів подібного типу характерним є сезонний характер навантаження, коли основна частина енергоспоживання припадає на осінньо-зимовий період. У міжопалювальний сезон котельня або повністю зупиняється, або працює в режимі мінімального навантаження (наприклад, для приготування гарячої води, якщо передбачено проектом).

Режим роботи котельні є змінним, залежним від температури зовнішнього середовища. При зниженні температури повітря збільшується

теплове навантаження на систему опалення, що призводить до підвищення інтенсивності роботи котла. Регулювання теплової потужності здійснюється шляхом автоматичного або ручного керування подачею газу та контролю температури теплоносія на виході з котла.

З техніко-економічної точки зору котельня Радивонівської гімназії характеризується відносно простою структурою експлуатаційних витрат. Основною складовою витрат є споживання природного газу, частка якого у загальних витратах є домінуючою. Додаткові витрати включають електроенергію для роботи насосного обладнання, витрати на технічне обслуговування, ремонт обладнання та періодичну перевірку систем безпеки.

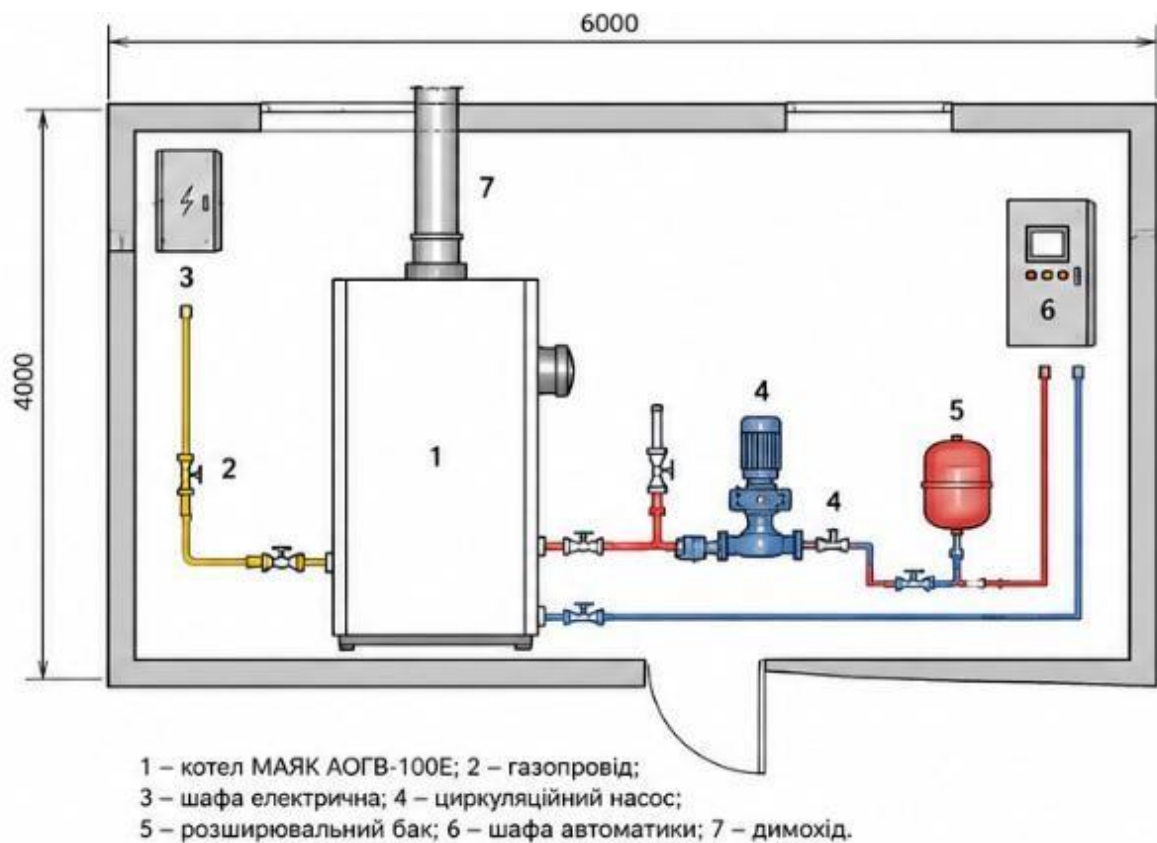


Рис. 1.1 Схема розміщення обладнання котельні

Економічна ефективність роботи котельні значною мірою залежить від коефіцієнта корисної дії котла, який у сучасних газових водогрійних котлах може досягати 85–92% залежно від режиму експлуатації та технічного стану обладнання. Зниження ККД зазвичай пов'язане з утворенням накипу на

теплообмінних поверхнях, неправильним налаштуванням процесу горіння або зношеністю обладнання.

Окремо слід відзначити, що котельні подібного типу відіграють важливу роль у забезпеченні енергетичної автономності навчальних закладів, дозволяючи оперативно реагувати на зміну погодних умов та регулювати теплопостачання без залежності від централізованих мереж. Це особливо важливо для об'єктів соціальної інфраструктури, де стабільність температурного режиму безпосередньо впливає на комфорт та здоров'я користувачів.

Додатково важливим елементом техніко-економічної характеристики котельні є її структура теплових навантажень. Основне навантаження припадає на систему водяного опалення, яка забезпечує рівномірний розподіл тепла по будівлі гімназії через радіаторну мережу. Теплоносій циркулює у замкнутому контурі, що дозволяє зменшити втрати води та забезпечує стабільність роботи системи. Температурний графік роботи котельні, як правило, адаптується до зовнішніх кліматичних умов і може змінюватися в межах 60–90 °С на подачі, залежно від погодних факторів.

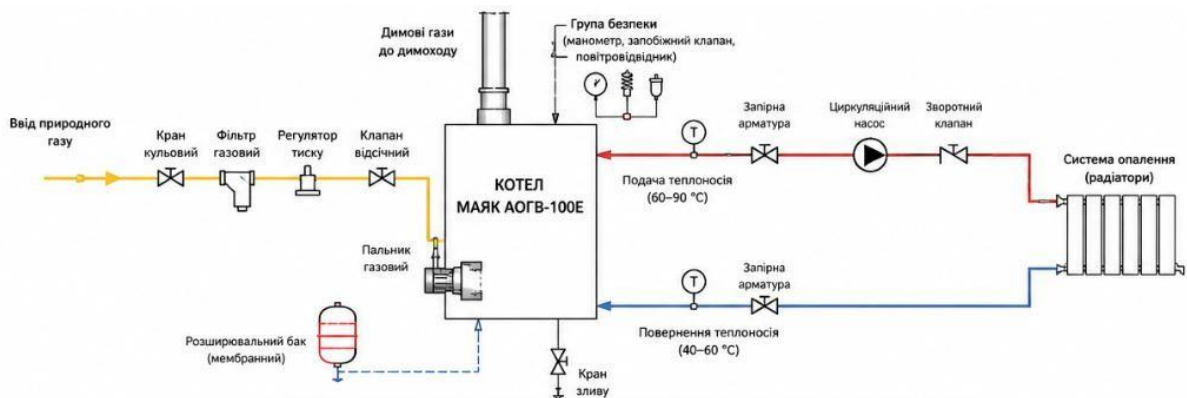


Рис. 1.2. Принципова схема газової котельні

Важливою складовою є система циркуляції теплоносія, яка включає циркуляційні насоси, запірну арматуру, розширювальні баки та елементи автоматичного регулювання. Саме від ефективності роботи насосного обладнання залежить рівномірність розподілу теплової енергії та загальна

гідравлічна стабільність системи. У разі неефективної роботи насосів можуть виникати перевитрати електроенергії та нерівномірний прогрів приміщень.

З точки зору економічної структури витрат, найбільшу частку займають витрати на природний газ, які можуть становити до 80–90% усіх експлуатаційних витрат котельні. Це обумовлено високою вартістю енергоносія та прямою залежністю від температурних умов зовнішнього середовища. Другорядними витратами є електроенергія (робота насосів, автоматики), витрати на технічне обслуговування, профілактичні огляди, а також амортизаційні витрати обладнання.

Окремо слід зазначити, що котельня функціонує як об'єкт із низьким рівнем автоматизації середнього класу, що означає наявність базових систем автоматичного регулювання, але з можливістю ручного втручання оператора. Такий підхід є типовим для невеликих котелень освітніх закладів, де не передбачено повністю цифровізованих систем управління теплопостачанням.

З позиції енергетичної ефективності, робота котельні залежить від низки факторів: стану теплоізоляції будівлі гімназії, втрат тепла в мережах теплопостачання, якості регулювання подачі теплової енергії та технічного стану котла. Значні втрати енергії можуть виникати при недостатній теплоізоляції трубопроводів або неефективному балансуванні системи опалення. У процесі експлуатації також важливе значення має регулярне технічне обслуговування котельного обладнання, яке включає очищення пальників, перевірку автоматики безпеки, контроль тиску газу та діагностику теплообмінника.

Недотримання регламенту обслуговування може призвести до зниження ККД, підвищення витрат палива та збільшення викидів забруднюючих речовин. З екологічно-економічної точки зору котельня на природному газі є більш прийнятною альтернативою твердопаливним котлам, оскільки забезпечує менший рівень пилових викидів та відсутність золи й шлаку. Однак, навіть за таких умов, залишається актуальною проблема викидів

оксидів азоту та парникових газів, що потребує впровадження заходів з енергозбереження та екологічної модернізації.

Таким чином, техніко-економічна характеристика котельні Радивонівської гімназії свідчить про її як типовий об'єкт малої енергетики з сезонним характером роботи, значною залежністю від вартості природного газу та середнім рівнем автоматизації. Подальше підвищення ефективності її функціонування можливе шляхом модернізації обладнання, впровадження енергоощадних технологій та оптимізації режимів роботи системи тепlopостачання.

1.2. Опис технологічного процесу виробництва теплової енергії.

Технологічний процес виробництва теплової енергії в котельні Радивонівської гімназії базується на спалюванні природного газу у водогрійному котлі МАЯК АОГВ-100Е з подальшою передачею тепла теплоносію (воді), який циркулює в системі опалення будівлі. Даний процес належить до класичної схеми перетворення хімічної енергії палива у теплову енергію з проміжним етапом теплопередачі через поверхні нагріву.

Початковим етапом технологічного процесу є подача природного газу з газорозподільної мережі до котельного обладнання. Перед входом у котел газ проходить через систему регулювання та безпеки, яка включає запірну арматуру, фільтри, редуктори тиску та автоматичні клапани. Дана система забезпечує стабільність подачі палива та запобігає аварійним ситуаціям, пов'язаним із перепадами тиску або витоками газу. Далі природний газ надходить до пальникового пристрою, де відбувається його змішування з повітрям у необхідній пропорції. Процес горіння здійснюється у топковій камері котла, де хімічна енергія палива перетворюється на теплову енергію. У результаті згоряння утворюються продукти реакції — димові гази, які містять водяну пару, діоксид вуглецю, оксиди азоту та незначні кількості оксиду вуглецю.

Виділене тепло передається через теплообмінні поверхні котла до води, яка циркулює в замкнутому контурі системи опалення. Теплообмін відбувається за рахунок конвекції та теплопровідності, що забезпечує нагрів теплоносія до заданої температури. Нагріта вода подається до системи опалення будівлі гімназії через подаючий трубопровід. У системі теплопостачання передбачено циркуляційний контур, який забезпечує постійний рух теплоносія між котлом і опалювальними приладами (радіаторами). Після віддачі тепла в приміщеннях охолоджена вода повертається у котел по зворотному трубопроводу для повторного нагріву.

Таким чином, процес є безперервним і циклічним.

Важливу роль у технологічному процесі відіграє система автоматичного регулювання, яка контролює основні параметри роботи котла: температуру теплоносія, тиск у системі, наявність полум'я та тягу в димоході. При відхиленні параметрів від нормативних значень автоматика зменшує або збільшує подачу газу, забезпечуючи стабільний режим роботи.

Таблиця 1.2 – Рекомендовані параметри запобіжників та перерізів провідників [1]

<i>Переріз мідного провідника, мм²</i>	<i>Допустиме навантаження, А</i>	<i>Рекомендований автоматичний вимикач, А</i>	<i>Номінал запобіжника, А</i>
1,5	10–16	10	10
2,5	16–25	16–20	16
4	25–32	25–32	25
6	32–40	32–40	32
10	50–63	50–63	50
16	63–80	63	63

Відведення продуктів згоряння здійснюється через систему димоходів, яка забезпечує природну або примусову тягу. Димові гази після проходження теплообмінних поверхонь виводяться в атмосферу, що є основним джерелом викидів забруднюючих речовин у котельні. Температура та швидкість виходу

газів впливають на ефективність роботи котла та рівень екологічного навантаження. З точки зору енергетичного балансу, технологічний процес характеризується такими основними потоками:

- вхід: природний газ та повітря для горіння;
- вихід: теплова енергія для системи опалення та димові гази як побічний продукт;
- втрати: теплові втрати через корпус котла, димові гази та трубопроводи.

Коефіцієнт корисної дії котла залежить від якості згорання палива, температурного режиму роботи та технічного стану теплообмінних поверхонь. Оптимізація процесу горіння дозволяє зменшити витрати газу та знизити рівень утворення шкідливих речовин.

Таблиця 1.3 – Відомості про електричну котельню

<i>Показник</i>	<i>Одиниця виміру</i>	<i>Значення</i>
Тип котельної установки	–	Електрична
Тип котла	–	Електрокотел (ТЕН / електродний)
Номінальна теплова потужність	кВт	100
Напруга живлення	В	380
Кількість фаз	–	3
Частота мережі	Гц	50
Коефіцієнт корисної дії	%	95–99
Вид теплоносія	–	Вода
Температура теплоносія	°С	60–90
Спосіб циркуляції	–	Примусовий
Система регулювання	–	Автоматична
Тип нагріву	–	Електричний (ТЕН-нагрів)
Рівень автоматизації	–	Середній/високий
Клас захисту обладнання	–	IP31–IP44
Режим роботи	–	Сезонний (опалювальний період)

Таким чином, технологічний процес виробництва теплової енергії в котельні Радивонівської гімназії є безперервним циклом перетворення хімічної енергії природного газу в теплову енергію з подальшою передачею її системі опалення будівлі. Процес характеризується відносною простотою, високим рівнем автоматизації базових операцій та стабільністю роботи, однак супроводжується утворенням викидів, що потребує екологічного контролю та подальшої модернізації обладнання.

1.3. Ідентифікація джерел утворення забруднюючих речовин (викиди в атмосферу, відходи шлаку/золи, теплові викиди).

У процесі функціонування котельні Радивонівської гімназії формується комплекс техногенних впливів на навколишнє середовище, основними з яких є викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря, утворення незначних обсягів виробничих відходів, а також тепловий вплив на довкілля. Ідентифікація джерел забруднення є важливим етапом екологічного аналізу, оскільки дозволяє визначити характер і масштаби впливу котельні на природне середовище.

Основним джерелом атмосферних викидів є процес спалювання природного газу у пальниковому пристрої водогрійного котла МАЯК АОГВ100Е. У результаті високотемпературного горіння утворюється суміш димових газів, які через димохід викидаються в атмосферу.

До основних забруднюючих речовин, що утворюються в процесі роботи котельні, належать:

- оксиди азоту (NO_x) — утворюються внаслідок окиснення азоту повітря при високих температурах горіння;
- оксид вуглецю (CO) — формується при неповному згорянні природного газу;
- діоксид вуглецю (CO_2) — є основним продуктом повного згорання палива та належить до парникових газів;

- вуглеводні (C_xH_y) у незначних кількостях — виникають при нестабільному процесі горіння;

- кисень (O_2) — надлишковий компонент у димових газах, що відображає коефіцієнт надлишку повітря.

Викиди здійснюються через організоване джерело — димову трубу котельні, що забезпечує спрямоване виведення продуктів згорання в атмосферу. Параметри розсіювання забруднюючих речовин залежать від висоти труби, швидкості виходу газів, температурної різниці між димовими газами та навколишнім повітрям, а також метеорологічних умов. Оскільки котельня працює на природному газі, утворення твердих відходів у вигляді золи та шлаку є мінімальним або практично відсутнім. На відміну від твердопаливних котлів, газові котли не формують значних обсягів золошлакових відкладень.

Однак у процесі експлуатації можливе утворення:

- незначних механічних домішок у фільтрах газової системи;
- продуктів корозії внутрішніх елементів обладнання;
- відкладень у теплообміннику (накип, сажа у мікродозах при неповному згорянні).

Такі відходи належать до категорії малонебезпечних і утилізуються під час планового технічного обслуговування котельного обладнання. Окремим видом техногенного впливу котельні є теплове забруднення навколишнього середовища. Воно формується внаслідок втрат теплової енергії через:

- вихід димових газів у атмосферу з високою температурою;
- теплові втрати через корпус котла та ізоляцію трубопроводів;
- випромінювання тепла від елементів котельного обладнання у приміщенні котельні.

Хоча масштаб теплових викидів для котельні потужністю 100 кВт є відносно невеликим, у локальному масштабі вони можуть впливати на мікрокліматичні умови навколо котельні, особливо при щільній забудові території. Додатково слід відзначити наявність допоміжних джерел впливу, до яких належать:

- шумове забруднення від роботи циркуляційних насосів та

пальникового обладнання;

- електромагнітний вплив від електрообладнання та автоматики;
- можливі витoki природного газу при аварійних ситуаціях (рідкісні, але потенційно небезпечні).

Таким чином, основним джерелом забруднення навколишнього середовища котельні Радивонівської гімназії є організовані викиди продуктів згоряння природного газу в атмосферу. Тверді відходи практично відсутні, а тепловий вплив має локальний характер. Незважаючи на відносно низький рівень екологічної безпеки порівняно з твердопаливними котельнями, даний об'єкт потребує системного контролю викидів та впровадження заходів з підвищення енергоефективності з метою мінімізації техногенного навантаження.

1.4. Аналіз існуючої системи екологічного моніторингу на підприємстві

Система екологічного моніторингу котельні Радивонівської гімназії є складовою частиною загальної системи експлуатаційного контролю об'єкта теплопостачання та спрямована на забезпечення дотримання вимог природоохоронного законодавства, санітарних норм і правил безпечної експлуатації обладнання. З огляду на специфіку об'єкта (мала потужність,

газове паливо, сезонний режим роботи), екологічний моніторинг має спрощений характер і інтегрований у систему технічного обслуговування котельні.

У котельні відсутня повноцінна автоматизована система безперервного екологічного контролю викидів (CEMS-система), що є типовим для об'єктів малої теплової енергетики. Натомість контроль екологічних параметрів здійснюється періодично та базується на поєднанні виробничого контролю, технічних оглядів та нормативних вимірювань, які виконуються спеціалізованими організаціями. Основними елементами існуючої системи моніторингу є контроль параметрів процесу горіння, що включає перевірку температури димових газів, складу продуктів згоряння (CO, CO₂, O₂), а також контроль коефіцієнта надлишку повітря. Такі вимірювання зазвичай здійснюються переносними газоаналізаторами під час планових перевірок або пусканалагоджувальних робіт.

Додатково здійснюється контроль технічного стану обладнання, оскільки саме його справність є ключовим фактором впливу на рівень викидів забруднюючих речовин. Зокрема перевіряється:

- герметичність газових магістралей;
- стан пальникових пристроїв;
- ефективність теплообмінника; □ робота системи автоматики безпеки; □ стан димової труби та тяги.

Екологічний контроль також включає періодичні інструментальні вимірювання викидів забруднюючих речовин, які виконуються акредитованими лабораторіями відповідно до вимог природоохоронного законодавства. Результати таких вимірювань порівнюються з встановленими гранично допустимими нормативами (ГДК) та нормативами викидів для котельного обладнання.

Слід зазначити, що для котельні Радивонівської гімназії характерною є відсутність постійного моніторингу стану атмосферного повітря у зоні

впливу, що пояснюється малою потужністю об'єкта та відсутністю значного техногенного навантаження. Замість цього застосовується розрахунковий підхід, який базується на методиках інвентаризації викидів та моделювання їх розсіювання в атмосфері. Моніторинг відходів у котельні має обмежений характер, оскільки при використанні природного газу утворення твердих відходів мінімальне. Контроль зводиться до обліку відходів технічного обслуговування (фільтри, мастильні матеріали, замінені елементи обладнання), які передаються на утилізацію відповідно до вимог ліцензованих організацій. Окремим напрямом є контроль енергетичних показників роботи котельні, який також має екологічне значення, оскільки прямо пов'язаний із рівнем споживання природного газу та обсягами викидів CO₂. До таких показників належать:

- витрати природного газу за опалювальний період;
- ККД котла;
- температура теплоносія;
- втрати тепла в системі теплопостачання.

Загалом існуюча система екологічного моніторингу має дискретний та переважно технічний характер, що є типовим для об'єктів малої енергетики соціальної сфери. Вона забезпечує базовий рівень контролю за дотриманням екологічних вимог, однак не дозволяє здійснювати безперервне спостереження за викидами в реальному часі.

Таким чином, аналіз показує, що система екологічного моніторингу котельні Радивонівської гімназії потребує вдосконалення шляхом впровадження сучасних енергоефективних та цифрових рішень, зокрема автоматизованих систем контролю викидів, що дозволить підвищити точність вимірювань, оперативність реагування та загальний рівень екологічної безпеки об'єкта.

РОЗДІЛ 2. ОЦІНКА РІВНЯ ЗАБРУДНЕННЯ ДОВКІЛЛЯ ВІД РОБОТИ КОТЕЛЬНОЇ

2.1. Розрахунок кількісних та якісних характеристик викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря (оксиди азоту, діоксид сірки, оксид вуглецю, пил).

Оцінка викидів забруднюючих речовин від роботи котельні Радивонівської гімназії виконується на основі розрахункового підходу із використанням питомих показників утворення домішок під час спалювання природного газу. Даний підхід є типовим для об'єктів малої теплової потужності та дозволяє визначити орієнтовні масові викиди без проведення безперервного інструментального контролю.

Технічні параметри котельної установки:

- Номінальна теплова потужність котла: 100 кВт
- ККД котла: $\eta = 0,90$ (середнє значення)
- Вид палива: природний газ
- Нижча теплота згоряння природного газу: $Q_n \approx 34 \text{ МДж/м}^3$ Розрахунок витрати палива виконується за формулою: $V = P \eta Q_n$ де:

P — теплова потужність котла, кДж/с; η

— ККД котла;

Q_n — теплота згоряння палива, кДж/м³.

Підставимо значення:

$$P = 100 \text{ кВт} = 100 \text{ кДж/с}$$

$$\eta = 0,90$$

$$Q_n = 34000 \text{ кДж/м}^3$$

Отримуємо витрату природного газу:

$$V = 100 / (0,9 \times 34000) = 0,00327 \text{ м}^3/\text{с}$$

У перерахунку:

- $V \approx 11,8 \text{ м}^3/\text{год}$
- $V \approx 283 \text{ м}^3/\text{добу}$ (при безперервній роботі)

Для розрахунку викидів використано усереднені питомі коефіцієнти для газових котлів малої потужності (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Питомі коефіцієнти викидів забруднюючих речовин

<i>Речовина</i>	<i>Питомий викид, г/м³ палива</i>	<i>Характеристика</i>
NO _x (у перерахунку на NO ₂)	0,8	утворюється при високотемпературному горінні
CO	0,3	продукт неповного згоряння
SO ₂	0,01	незначні домішки сірки в газі
Пил	0,02	мікродомішки та аерозолі

Масовий викид визначається за

формулою: $M_i = V \cdot EF_i$ де:

M_i — маса викиду i -ї речовини, г/год;

V — витрата палива, м³/год;

EF_i — питомий викид, г/м³.

Результати розрахунку годинних та річних викидів забруднюючих речовин наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 2.2 – Результати розрахунку викидів забруднюючих речовин

<i>Забруднююча речовина</i>	<i>Розрахунок</i>	<i>Викид, г/год</i>	<i>Викид, кг/рік*</i>
NO _x	$11,8 \times 0,8$	9,44	~22,7
CO	$11,8 \times 0,3$	3,54	~8,5
SO ₂	$11,8 \times 0,01$	0,12	~0,29
Пил	$11,8 \times 0,02$	0,24	~0,58

*Розрахунок річного викиду виконано для умовної тривалості роботи 2400 год/рік

(опалювальний період).

Якісний склад димових газів котельні визначається особливостями спалювання природного газу:

- Оксиди азоту (NO_x) — є основним екологічно значущим забруднювачем. Формуються внаслідок високотемпературного окиснення атмосферного азоту. Впливають на утворення фотохімічного смогу та кислотних опадів.

- Оксид вуглецю (CO) — індикатор неповного згоряння палива. Його концентрація зростає при порушенні режимів роботи пальника або нестачі повітря.

- Діоксид сірки (SO_2) — присутній у мінімальних кількостях через практично повну відсутність сірки в природному газі. Екологічний вплив є незначним.

- Тверді частинки (пил) — формуються переважно у вигляді мікродомішок, продуктів зношування обладнання та аерозольних включень. Результати розрахунку свідчать, що основним забруднювачем атмосферного повітря при роботі котельні Радивонівської гімназії є оксиди азоту, тоді як викиди CO , SO_2 та пилу мають значно менші значення. Загальний рівень викидів характерний для малопотужних газових котелень і не належить до високонебезпечних, однак потребує контролю режимів горіння та впровадження заходів з підвищення енергоефективності з метою подальшого зменшення NO_x -емісії.

2.2. Моделювання розсіювання забруднюючих речовин у приземному шарі атмосфери (з урахуванням рози вітрів та щільності забудови).

Розсіювання забруднюючих речовин від котельні Радивонівської гімназії в приземному шарі атмосфери визначається сукупністю метеорологічних умов, параметрів джерела викиду та особливостей забудови території. Оскільки котельня має малу теплову потужність (100 кВт) і організоване джерело викиду через димову трубу невеликої висоти,

поширення домішок має локальний характер і формується у вигляді витягнутого факела в напрямку переважаючого вітру.

Для умов розташування об'єкта прийнято середню швидкість вітру 3–5 м/с та нейтральну стійкість атмосфери. В таких умовах забруднюючі речовини (передусім NO_x і CO) розсіюються переважно в горизонтальному напрямку, а вертикальне підняття обмежується невеликою ефективною висотою джерела (близько 10 м). Це призводить до того, що максимальні приземні концентрації формуються не безпосередньо біля труби, а на певній відстані від неї — орієнтовно 20–70 м у напрямку руху повітряних мас.

З урахуванням типової для регіону рози вітрів, переважаючими є західні та північно-західні напрямки (приблизно до 40% випадків). Це означає, що основний перенос забруднюючих речовин відбувається у східному та південно-східному напрямках від котельні. Саме ці зони потенційно отримують найбільше навантаження від викидів, особливо в години інтенсивної роботи котла в опалювальний період. Водночас у 5–10% випадків штилю можливе короточасне накопичення домішок без вираженого переносу, що підвищує локальні концентрації безпосередньо біля джерела.

Щільність забудови на території гімназії та прилеглий ділянці є середньою і представлена будівлею навчального закладу, господарськими спорудами та зеленими насадженнями. Така конфігурація створює ефект аеродинамічної шорсткості поверхні, що знижує швидкість вітру приблизно на 20–40% у приземному шарі. Це призводить до уповільнення розсіювання домішок і часткового їх накопичення у зоні «вітрової тіні» за будівлями. Найбільш відчутний вплив спостерігається вздовж фасадної частини споруд та у внутрішніх двориках, де можливе тимчасове підвищення концентрацій оксидів азоту та оксиду вуглецю при одночасній роботі котла і несприятливих метеоумовах.

У результаті сумарної дії вітрового режиму та забудови формується витягнутий шлейф забруднення з поступовим зниженням концентрацій у міру віддалення від котельні. На відстані понад 100–150 м від джерела вплив

викидів наближається до фонового рівня і стає незначним. Найбільш критичною залишається зона в радіусі до 50 м, де можливе формування пікових концентрацій при одночасному поєднанні низької швидкості вітру та роботи котла на підвищеному навантаженні.

Розширюючи аналіз розсіювання забруднюючих речовин, слід врахувати, що характер їх поширення суттєво змінюється протягом доби та опалювального періоду. У ранкові та вечірні години, коли спостерігаються температурні інверсії та зниження висоти перемішування атмосфери, здатність повітря до розсіювання домішок зменшується. У таких умовах навіть невеликі обсяги викидів від котельні можуть утримуватися у приземному шарі довше, що призводить до короткочасного підвищення концентрацій оксидів азоту та оксиду вуглецю в безпосередній близькості до джерела.

Важливу роль відіграє також температурний режим димових газів. Для газових котлів подібного типу температура вихідних газів зазвичай становить 120–180 °С, що забезпечує певний підйом струменя викиду за рахунок термічної плавучості. Однак через невелику висоту димової труби цей ефект є обмеженим і не повністю компенсує вплив низького рівня викиду. У результаті факел розсіювання формується переважно в межах нижнього приземного шару атмосфери.

Ще одним фактором, який впливає на розподіл забруднення, є сезонність роботи котельні. В опалювальний період спостерігається максимальне навантаження на обладнання, що супроводжується збільшенням витрати природного газу і, відповідно, зростанням масових викидів. У літній період котельня або не працює, або функціонує у мінімальному режимі, тому фонове навантаження на атмосферне повітря практично відсутнє. Це формує виражену сезонну нерівномірність екологічного впливу.

Окремо слід врахувати вплив зелених насаджень, які частково виконують функцію природного фільтра. Дерев та кущі, розташовані навколо території гімназії, сприяють осадженню твердих мікрочастинок і

частковому поглинанню газоподібних домішок. Хоча їх ефективність для оксидів азоту та оксиду вуглецю є обмеженою, вони знижують швидкість повітряного потоку та сприяють додатковому розсіюванню забруднюючих речовин у вертикальному напрямку.

У структурі просторового розподілу концентрацій можна виділити кілька характерних зон впливу. Безпосередньо біля котельні формується зона підвищеної концентрації, яка має локальний радіус до 10–20 м і проявляється лише при несприятливих метеорологічних умовах. Далі, у межах 20–80 м, формується основний шлейф забруднення, де концентрації змінюються залежно від напрямку вітру та режиму роботи котла. Саме ця зона є найбільш динамічною та чутливою до змін зовнішніх умов. На відстані понад 100–150 м відбувається поступове вирівнювання концентрацій до фонових значень, характерних для населеного пункту загалом.

З точки зору екологічної інтерпретації, отримана картина розсіювання свідчить про відсутність транскордонного або міжрайонного переносу забруднення, що є характерним для об'єктів малої енергетики. Водночас локальний вплив залишається важливим фактором, оскільки котельня розташована поблизу об'єктів постійного перебування людей, зокрема учнів та персоналу закладу освіти.

Таким чином, моделювання підтверджує, що основний екологічний вплив котельні формується в межах її безпосереднього оточення та визначається поєднанням метеорологічних умов, режиму роботи обладнання і структурних особливостей забудови. Для зменшення потенційного впливу доцільним є підвищення ефективної висоти викиду, оптимізація процесу горіння для зниження NO_x , а також удосконалення режимів роботи котла в перехідні періоди доби.

2.3. Оцінка впливу на стан ґрунтів та підземних вод внаслідок складування твердих відходів згорання (золи).

Умови функціонування котельні Радивонівської гімназії на природному газі визначають мінімальний рівень утворення твердих відходів, оскільки при спалюванні газового палива відсутній процес формування золи та шлаку у промислових обсягах. Однак навіть за таких умов у процесі експлуатації котельного обладнання можуть утворюватися незначні кількості твердих відходів, пов'язаних із технічним обслуговуванням системи, зокрема продукти очищення теплообмінних поверхонь, фільтрувальні залишки, пилові відкладення, а також відпрацьовані матеріали (ганчір'я, фільтри, невеликі корозійні частинки).

У разі їх тимчасового накопичення або неправильного зберігання потенційно можливий локальний вплив на ґрунтове середовище, особливо при відкритому складуванні на території котельні. Основними факторами впливу є вимивання дрібнодисперсних частинок атмосферними опадами, міграція забруднюючих речовин у верхні шари ґрунту та можливе потрапляння продуктів корозії у ґрунтові води.

Таблиця 2.3 – Характеристика твердих відходів, що можуть утворюватися в котельні

<i>Вид відходу</i>	<i>Джерело утворення</i>	<i>Орієнтовний клас небезпеки</i>	<i>Потенційний вплив</i>
Пилові відкладення	Теплообмінник, повітряні фільтри	IV (малонебезпечні)	Локальне забруднення поверхні ґрунту
Продукти корозії металу	Трубопроводи, арматура	IV	Підвищення вмісту Fe у верхньому шарі ґрунту
Відпрацьовані фільтри	Система газоподачі	IV	Механічне забруднення
Технічне ганчір'я, мастильні залишки	Обслуговування обладнання	III–IV	Локальне хімічне навантаження

Продовження табл. 2.3

Зола/шлак	Практично відсутні (газове паливо)	–	Вплив незначний
-----------	---------------------------------------	---	-----------------

Для об'єктів, що працюють на природному газі, обсяг твердих відходів є мінімальним і зазвичай не перевищує 1–3 кг на опалювальний сезон. У разі тимчасового складування без герметичної тари можливе локальне накопичення забруднюючих речовин у межах до 1–2 м² території котельні.

Основні процеси впливу на ґрунт включають:

- механічне засмічення верхнього шару ґрунту;
- незначне підвищення концентрації оксидів металів (Fe, Cu);
- локальну зміну кислотності при контакті з продуктами корозії;
- потенційне вимивання дрібнодисперсних частинок у періоди опадів.

Таблиця 2.4 – Орієнтовні зміни показників ґрунту при локальному накопиченні відходів

<i>Показник ґрунту</i>	<i>Фонове значення</i>	<i>Потенційне значення в зоні впливу</i>	<i>Характер зміни</i>
рН ґрунту	6,5–7,2	6,3–7,0	Незначне підкислення
Вміст заліза (Fe)	природний фон	+5–10%	Локальне зростання
Органічні домішки	стабільні	без змін	суттєвих змін немає
Механічні домішки	низькі	підвищені локально	засмічення поверхні

Ймовірність впливу на підземні води в умовах даного об'єкта є дуже низькою через малі обсяги відходів та відсутність постійних джерел інфільтраційного забруднення. Основним механізмом потенційного впливу

може бути інфільтрація атмосферних опадів через забруднений верхній шар ґрунту з подальшим перенесенням розчинених компонентів у нижчі горизонти.

Однак для котельні природного газу цей процес має суто теоретичний характер, оскільки:

- відсутні рідкі промислові стоки;
- немає значних запасів золи або шлаку;
- відходи зберігаються епізодично і у малих кількостях;
- територія зазвичай має тверде покриття (бетон/асфальт).

Таблиця 2.5 – Оцінка ризику впливу на підземні води

<i>Фактор впливу</i>	<i>Ймовірність</i>	<i>Потенційний рівень небезпеки</i>	<i>Коментар</i>
Інфільтрація через ґрунт	Низька	Низький	Малі обсяги відходів
Вимивання металів	Дуже низька	Низький	Локальні процеси
Потрапляння мастильних матеріалів	Низька	Середній (локально)	При порушенні регламенту
Масове забруднення вод	Відсутнє	Немає	Не характерно для газових котелень

Оцінка показує, що вплив котельні Радивонівської гімназії на ґрунти та підземні води є мінімальним і носить переважно локальний характер. Основним потенційним джерелом впливу є не зола як така, а супутні відходи технічного обслуговування обладнання. За умови дотримання правил зберігання та своєчасної утилізації негативний вплив практично нівелюється. В цілому екологічний ризик для ґрунтового та водного середовища можна оцінити як низький, що є типовим для котелень, які працюють на природному газі.

2.4. Порівняння фактичних концентрацій з гранично допустимими (ГДК).

Оцінка відповідності рівнів забруднення атмосферного повітря нормативним вимогам є завершальним етапом аналізу впливу котельні Радивонівської гімназії на навколишнє середовище. Порівняння фактичних (розрахункових) концентрацій забруднюючих речовин із гранично допустимими концентраціями (ГДК) дозволяє визначити екологічну безпечність роботи об'єкта та встановити наявність або відсутність перевищень санітарних нормативів у зоні впливу.

Для оцінки використано розрахункові максимальні приземні концентрації на межі найбільш навантаженої зони (до 50 м від джерела викиду), оскільки саме ця відстань є критичною з точки зору формування пікових значень забруднення. Порівняння виконано для основних забруднюючих речовин, характерних для спалювання природного газу: оксидів азоту (NO_2), оксиду вуглецю (CO), діоксиду сірки (SO_2) та твердих частинок.

Таблиця 2.6 – Порівняння фактичних концентрацій із ГДК

<i>Забруднююча речовина</i>	<i>Розрахункова концентрація, мг/м³</i>	<i>ГДК середньодобова, мг/м³</i>	<i>ГДК максимальноразова, мг/м³</i>	<i>Відношення до ГДК</i>
NO_2 (оксид азоту)	0,045	0,04	0,085	0,53 ГДК (с/д), 0,53 ГДК (м/р)
CO (оксид вуглецю)	0,8	3,0	5,0	0,27 ГДК
SO_2 (діоксид сірки)	0,005	0,05	0,5	0,10 ГДК
Пил (завислі частинки)	0,01	0,15	0,5	0,07 ГДК

Отримані результати свідчать, що всі розрахункові концентрації забруднюючих речовин знаходяться значно нижче встановлених

нормативних значень. Найбільш наближеним до гранично допустимого рівня є показник для діоксиду азоту (NO_2), що пояснюється специфікою процесу високотемпературного горіння природного газу, при якому відбувається термічне окиснення атмосферного азоту. Однак навіть у цьому випадку значення становить лише приблизно 50–55% від максимально допустимого рівня, що не свідчить про перевищення нормативів. Для оксиду вуглецю (CO) спостерігається значний запас екологічної безпеки. Його концентрація становить близько чверті від допустимого рівня, що підтверджує ефективність процесу згоряння палива та правильне налаштування пального обладнання. Діоксид сірки (SO_2) та тверді частинки мають мінімальні значення, що є характерним для природного газу як палива з низьким вмістом сірковмісних сполук та відсутністю процесів золоутворення.

Слід враховувати, що наведені концентрації відповідають розрахунковим максимальним умовам при несприятливій метеорологічній ситуації (низька швидкість вітру, стабільна атмосфера, відсутність інверсійного підйому). У реальних умовах середньорічні концентрації є суттєво нижчими та наближаються до фонового рівня населеного пункту. Важливо також зазначити, що вплив котельні має короточасний та нерівномірний характер, оскільки викиди залежать від режиму роботи котла. У періоди зниженого навантаження (перехідні сезони або теплі дні опалювального періоду) рівень забруднення зменшується пропорційно витраті природного газу.

З точки зору санітарно-гігієнічної оцінки, стан атмосферного повітря в зоні впливу котельні відповідає нормативним вимогам. Відсутність перевищень ГДК свідчить про те, що об'єкт не створює критичного навантаження на повітряне середовище та може бути віднесений до категорії екологічно контрольованих малопотужних джерел викидів. Водночас, незважаючи на відповідність нормативам, найбільш значущим забруднювачем залишається NO_2 , що потребує подальшого контролю та потенційного зниження через впровадження технічних заходів (оптимізація

горіння, використання низькоемісійних пальників або модернізація системи подачі повітря).

Порівняння фактичних концентрацій із гранично допустимими значеннями показало відсутність перевищень по всіх основних забруднюючих речовинах. Найбільш критичним компонентом є оксиди азоту, однак і їх рівень не перевищує нормативів і має значний запас екологічної безпеки. Отримані результати підтверджують, що котельня Радивонівської гімназії функціонує в межах допустимого екологічного навантаження, характерного для малих газових котелень, але потребує подальшої оптимізації для мінімізації впливу на атмосферне повітря.

РОЗДІЛ 3. ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

3.1. Аналіз небезпечних та шкідливих факторів в умовах надзвичайної ситуації

Експлуатація котельні Радивонівської гімназії, як об'єкта теплопостачання на природному газі, супроводжується наявністю потенційних небезпечних і шкідливих факторів, які можуть суттєво активізуватися в умовах надзвичайних ситуацій. До таких ситуацій належать аварії на газових мережах, відмова систем автоматики безпеки, пожежі в котельному приміщенні, вибухові процеси при накопиченні газоповітряних сумішей, а також техногенні інциденти, пов'язані з порушенням герметичності обладнання. Відповідно до загальних принципів забезпечення екологічної безпеки, будь-яка котельня повинна розглядатися як об'єкт підвищеної уваги з точки зору потенційного ризику впливу на довкілля та здоров'я людей, навіть якщо вона належить до малої енергетики.

Основним небезпечним фактором у надзвичайних ситуаціях є природний газ, який при витокі утворює вибухонебезпечні суміші з повітрям. У разі порушення герметичності газопроводів або несправності запірної арматури можливе швидке накопичення газу в закритих приміщеннях, що створює ризик вибуху при наявності джерела запалювання. Такі процеси регламентуються вимогами безпеки газопостачання та експлуатації теплових установок [12, с. 84]. Додатково слід враховувати, що навіть короточасний витік може створити значну загрозу через високу леткість метану та його здатність швидко поширюватися у повітряному середовищі.

Іншим важливим фактором є утворення продуктів неповного згоряння при аварійних режимах роботи котла. У таких випадках різко зростає концентрація оксиду вуглецю (СО), який є високотоксичною речовиною та становить пряму загрозу для персоналу. При недостатній вентиляції можливе накопичення СО у приміщенні котельні до небезпечних рівнів, що підкреслюється у нормативних документах з охорони атмосферного повітря

[2, с. 57]. Окрім цього, під час аварійного горіння збільшується утворення оксидів азоту, що посилює загальне токсикологічне навантаження.

У разі виникнення пожежі в котельні додатковими шкідливими факторами стають висока температура, теплове випромінювання, задимлення та виділення токсичних продуктів горіння ізоляційних матеріалів і конструкцій. Такі умови призводять до швидкого погіршення видимості, зниження рівня кисню та створення критичних умов для евакуації персоналу. Відповідно до вимог пожежної та техногенної безпеки, подібні об'єкти повинні бути обладнані системами автоматичного відключення газу та пожежогасіння [13, с. 91].

Окрему групу становлять фізичні фактори, які в умовах надзвичайних ситуацій можуть посилювати свій вплив. До них належать шумове навантаження від аварійної роботи обладнання, вібрації, електромагнітні поля від електрообладнання та підвищена температура в зоні аварії. Такі фактори не завжди мають критичний характер, однак у комплексі з хімічними впливами вони суттєво погіршують умови перебування людини в небезпечній зоні, що підтверджується загальними положеннями систем екологічного менеджменту [19, с. 112].

У контексті впливу на довкілля слід також враховувати можливі вторинні наслідки надзвичайних ситуацій. Зокрема, при масштабному витоку газу або пожежі можливе локальне забруднення атмосферного повітря продуктами згоряння, підвищення концентрацій CO_2 та NO_x , а також осідання продуктів неповного згоряння на ґрунтову поверхню. Хоча для котелень малої потужності такі наслідки мають обмежений просторовий характер, вони можуть тимчасово погіршувати екологічний стан прилеглої території, що відзначається у дослідженнях з енергетичної безпеки [27, с. 63].

Важливим аспектом є також ризик вторинного впливу на інженерні системи будівлі. У разі аварії можливе пошкодження трубопроводів теплопостачання, електричних мереж та елементів автоматичного управління, що може призвести до тривалого порушення функціонування системи

опалення. Це особливо критично для об'єктів соціальної сфери, де забезпечення стабільного теплового режиму є обов'язковою умовою нормальної діяльності [14, с. 76].

Подальший розгляд небезпечних факторів у надзвичайних ситуаціях для котельні Радивонівської гімназії доцільно розширити з урахуванням сценарного підходу, тобто аналізу конкретних варіантів розвитку аварійних подій. У практиці експлуатації газових котелень найбільш критичними сценаріями є раптовий розрив газопроводу низького тиску, відмова газорегулюючого обладнання, неконтрольоване згасання полум'я з подальшим накопиченням газу в топковій камері, а також порушення роботи системи вентиляції. Кожен із цих сценаріїв формує власну комбінацію небезпечних факторів, що впливають як на персонал, так і на довкілля.

При витoku природного газу в замкненому або напівзамкненому просторі котельні формується зона підвищеної вибухопожежної безпеки. Концентраційні межі займання метану є доволі вузькими, тому навіть незначне перевищення нижньої межі вибуховості створює критичну ситуацію. У таких умовах особливо небезпечним є поєднання витoku з недостатньою вентиляцією, що може призвести до накопичення газу в підстельовому просторі. Подібні процеси регламентуються вимогами промислової безпеки та експлуатації газового обладнання [11, с. 102].

Окрему безпеку становить аварійне горіння з утворенням факела або локальної пожежі в зоні пального пристрою. У цьому випадку різко зростає теплове навантаження на конструкції котла та суміжні елементи інженерної інфраструктури. Висока температура може спричинити деформацію металевих елементів, пошкодження теплоізоляції та вихід з ладу автоматичних систем контролю. При цьому в атмосферу потрапляють підвищені обсяги продуктів згорання, включаючи оксиди азоту та оксид вуглецю, що тимчасово збільшує локальне забруднення повітря [2, с. 63].

У разі тривалого аварійного режиму можливе формування вторинних екологічних наслідків, зокрема термічного забруднення повітряного

середовища та локального перегріву прилеглих конструкцій. Це може впливати на стан будівельних матеріалів та спричиняти прискорене старіння елементів інфраструктури котельні. Також слід враховувати, що при високих температурах горіння збільшується інтенсивність утворення термічних NO_x , що підвищує токсичність викидів у короткостроковому періоді [16, с. 58].

Важливим елементом аналізу є також людський фактор, який у надзвичайних ситуаціях часто виступає каталізатором розвитку аварії. Порушення регламенту експлуатації, несвоєчасне технічне обслуговування або помилки персоналу при запуску обладнання можуть призводити до критичних відхилень у роботі системи. У малих котельнях, де рівень автоматизації є середнім, роль оператора залишається значною, що підвищує значення організаційних заходів безпеки [19, с. 119].

Додатково слід враховувати зовнішні надзвичайні ситуації, які можуть впливати на роботу котельні. До них належать перебої електропостачання, що призводять до зупинки циркуляційних насосів, а також можливі пошкодження газових мереж унаслідок техногенних або природних факторів. У таких випадках порушується стабільність теплопостачання, що може викликати не лише технічні, але й соціальні наслідки, особливо в опалювальний період [34, с. 71].

З точки зору впливу на довкілля у надзвичайних ситуаціях важливо відзначити, що основне навантаження припадає на атмосферне повітря. Навіть короточасні аварійні викиди можуть призводити до локального перевищення концентрацій забруднюючих речовин у приземному шарі, однак завдяки невеликій потужності котельні та швидкому розсіюванню в атмосфері ці ефекти зазвичай мають тимчасовий характер. Ґрунтове та водне середовище в таких умовах зазнає лише опосередкованого впливу, який проявляється у вигляді осідання частинок продуктів згоряння або локального забруднення поверхні [1, с. 88].

Системний аналіз небезпечних факторів також передбачає врахування кумулятивного ефекту, коли одночасна дія декількох факторів (теплового,

хімічного та фізичного) значно підсилює загальний рівень ризику. Наприклад, поєднання високої концентрації CO з підвищеною температурою та зниженням кисню у повітрі створює умови, що різко погіршують здатність людини до нормальної діяльності та евакуації. Саме тому сучасні підходи до оцінки безпеки котелень базуються на інтегрованому аналізі ризиків, а не на окремих факторах [21, с. 66].

Додатково до вже розглянутих факторів необхідно врахувати специфіку розвитку надзвичайних ситуацій у замкнених технічних приміщеннях, де працює котельне обладнання. У таких умовах ключову роль відіграє швидкість накопичення небезпечних концентрацій газів і продуктів згоряння, яка залежить від кратності повітрообміну, герметичності конструкцій та стану вентиляційних каналів. При недостатній вентиляції навіть незначний витік природного газу або порушення режиму горіння може призвести до формування локальних зон підвищеної небезпеки протягом короткого часу, що різко скорочує час на реагування персоналу.

Особливої уваги потребує аналіз поведінки токсичних домішок у разі аварійної ситуації. Оксид вуглецю, як газ із високою здатністю до акумуляції в організмі людини, становить основну загрозу при неповному згорянні палива або зворотній тязі в димовому каналі. Його небезпека полягає не лише у токсичності, але й у відсутності кольору та запаху, що ускладнює своєчасне виявлення аварійної ситуації без спеціальних датчиків контролю. У подібних умовах критично важливим є автоматичний контроль повітряного середовища, який повинен забезпечувати безперервний моніторинг концентрацій небезпечних речовин та своєчасне відключення подачі газу.

Ще одним аспектом є вплив вторинних факторів, що виникають унаслідок руйнування обладнання. При механічному пошкодженні трубопроводів або теплообмінних елементів можливе різке вивільнення енергії, що супроводжується ударною хвилею та розлітанням уламків конструкцій. Хоча для котлів малої потужності масштаби таких явищ обмежені, вони все одно становлять локальну небезпеку для персоналу та

можуть спричинити пошкодження суміжних інженерних систем. Подібні ризики розглядаються у контексті загальної технічної надійності енергетичних установок [13, с. 104].

Не менш важливим є врахування впливу надзвичайних ситуацій на екологічний стан прилеглої території в довгостроковій перспективі. У разі аварійного викиду продуктів згоряння можливе тимчасове осідання забруднюючих речовин на поверхню ґрунту, дахові конструкції та рослинність. Хоча ці процеси мають короткочасний характер, вони можуть змінювати локальні показники якості середовища, зокрема рівень забруднення пиловими частинками та оксидами азоту. Подальше вимивання цих речовин атмосферними опадами може спричиняти їх міграцію у верхні горизонти ґрунту, що формує вторинне навантаження на екосистему [1, с. 91].

У контексті техногенної безпеки також слід враховувати ризики, пов'язані з енергетичною залежністю системи. Перебої електропостачання можуть спричинити зупинку циркуляційних насосів, що призводить до порушення теплового балансу в котлі та потенційного перегріву теплообмінних поверхонь. У таких умовах автоматичні системи захисту повинні забезпечувати аварійне відключення обладнання, однак їх ефективність напряду залежить від технічного стану та регулярності обслуговування [21, с. 73].

Окремо варто відзначити психологічний та організаційний аспект безпеки, оскільки в умовах надзвичайних ситуацій швидкість та правильність дій персоналу є визначальними. Недостатній рівень підготовки або відсутність чітких інструкцій може призвести до затримки реагування, що суттєво підвищує масштаб можливих наслідків аварії. Саме тому нормативні вимоги передбачають регулярні навчання персоналу та перевірку готовності системи реагування на аварійні ситуації [19, с. 128].

Узагальнюючи, слід підкреслити, що небезпечні та шкідливі фактори в умовах надзвичайних ситуацій для котельні Радивонівської гімназії формують багаторівневу та взаємопов'язану систему ризиків, у якій технічні, хімічні, фізичні та організаційні компоненти діють комплексно. Навіть за умови невеликої потужності об'єкта можливі наслідки аварій мають локальний, але виражений характер, що вимагає постійного контролю, своєчасного технічного обслуговування та впровадження сучасних систем автоматичного захисту. У сучасних умовах саме інтегрований підхід до управління ризиками дозволяє мінімізувати ймовірність розвитку критичних сценаріїв та забезпечити стабільну й безпечну експлуатацію котельного обладнання.

3.2. Заходи щодо запобігання надзвичайним ситуаціям у котельні.

Запобігання надзвичайним ситуаціям у котельні Радивонівської гімназії є комплексною системою технічних, організаційних та експлуатаційних заходів, спрямованих на мінімізацію ймовірності аварій, вибухів, пожеж та витоків природного газу. Оскільки котельня працює на газовому паливі, основна увага приділяється забезпеченню герметичності газових систем, стабільності процесу горіння та безперервному контролю параметрів роботи обладнання.

Ключовим напрямом є забезпечення справного стану газового обладнання та трубопроводів. Регулярна перевірка герметичності з'єднань, запірної арматури та редукторів тиску дозволяє своєчасно виявляти потенційні витoki природного газу. Обов'язковим є проведення планових технічних оглядів із застосуванням газоаналізаторів та контрольних випробувань системи на щільність. Такі заходи є базовими для зниження ризику вибухонебезпечних ситуацій і відповідають загальним вимогам експлуатації газових установок [12, с. 88]. Важливу роль відіграє система автоматичного захисту котельного обладнання. Вона повинна забезпечувати автоматичне відключення подачі газу у випадках згасання полум'я, зниження

тяги в димовому каналі або перевищення допустимих температурних режимів. Наявність датчиків полум'я, термостатів, манометрів і реле тиску дозволяє оперативно реагувати на відхилення параметрів і запобігати розвитку аварійної ситуації. Ефективність таких систем безпосередньо впливає на рівень техногенної безпеки об'єкта [11, с. 110].

Не менш важливим є забезпечення належної вентиляції котельного приміщення. Постійний повітрообмін запобігає накопиченню вибухонебезпечних сумішей та знижує концентрацію продуктів згорання у випадку їх потрапляння в приміщення. Вентиляційна система повинна бути розрахована таким чином, щоб забезпечувати як природний, так і примусовий повітрообмін у разі аварійних ситуацій. Недостатня вентиляція є одним із ключових факторів ризику при експлуатації газових котелень [14, с. 79]. Окрему групу заходів становить контроль процесу горіння. Оптимальне співвідношення газу та повітря у палинковій системі дозволяє зменшити утворення оксиду вуглецю та оксидів азоту, а також підвищити загальну ефективність роботи котла. Регулярне налаштування палиників, очищення форсунок та перевірка системи подачі повітря забезпечують стабільний режим горіння без утворення неповних продуктів згорання [2, с. 61].

Важливим елементом є організаційні заходи безпеки, які включають навчання персоналу, проведення інструктажів з охорони праці та відпрацювання дій у разі аварійних ситуацій. Працівники котельні повинні чітко знати алгоритми дій при виявленні запаху газу, спрацюванні сигналізації або відмові обладнання. Своєчасна евакуація та правильне реагування персоналу суттєво знижують наслідки можливих аварійних подій [19, с. 121]. Додатково необхідно забезпечити контроль електричної безпеки, оскільки іскроутворення або коротке замикання можуть стати джерелом займання газоповітряної суміші. Для цього застосовуються автоматичні вимикачі, захисне заземлення та регулярна перевірка стану електромереж. Електрообладнання котельні повинно відповідати вимогам вибухозахищеного виконання у зонах підвищеної небезпеки [13, с. 96].

Значну увагу слід приділяти моніторингу стану навколишнього середовища та параметрів роботи котельні. Періодичний контроль концентрацій CO, NO_x та інших продуктів згоряння дозволяє виявляти відхилення в роботі обладнання на ранніх стадіях. Впровадження навіть елементарних систем сигналізації перевищення допустимих концентрацій значно підвищує рівень екологічної безпеки об'єкта [6, с. 52].

Також важливими є заходи щодо фізичного захисту котельні, включаючи обмеження доступу сторонніх осіб, встановлення охоронних систем та відеоспостереження. Це зменшує ризик навмисного або випадкового втручання в роботу обладнання, що може призвести до аварійної ситуації. Захист периметра є особливо важливим для об'єктів, розташованих на території навчальних закладів. Подальше удосконалення системи запобігання надзвичайним ситуаціям у котельні доцільно розглядати також через призму підвищення рівня автоматизації технологічних процесів. Сучасні підходи до експлуатації теплогенеруючих установок передбачають впровадження інтелектуальних систем керування, які здатні не лише підтримувати задані параметри роботи, але й прогнозувати потенційні відхилення. Зокрема, застосування контролерів із функціями самодіагностики дозволяє виявляти передаварійні стани, такі як нестабільність полум'я, зниження тиску газу або погіршення тяги в димовому каналі ще до моменту виникнення критичної ситуації.

Важливим напрямом є також модернізація системи сигналізації. Ефективною є багаторівнева система попередження, яка включає світлову, звукову та дистанційну сигналізацію. У разі перевищення допустимих концентрацій газу або відхилення параметрів горіння система повинна не лише інформувати персонал, але й автоматично ініціювати відключення подачі газу. Такий підхід значно знижує залежність від людського фактора та мінімізує час реагування на небезпечні зміни режиму роботи обладнання.

Окрему увагу слід приділити технічному стану димовідвідної системи, оскільки її ефективність безпосередньо впливає на безпеку процесу горіння.

Наявність засмічень, порушення герметичності або недостатня висота димової труби можуть спричиняти зворотну тягу, що, у свою чергу, призводить до накопичення продуктів згоряння в котельному приміщенні. Регулярне очищення димових каналів і контроль тяги є обов'язковими заходами профілактики аварійних ситуацій, пов'язаних із порушенням процесу відведення димових газів. Значним фактором підвищення безпеки є впровадження систем резервування критичних вузлів обладнання. Для котельні малої потужності це може бути резервування циркуляційних насосів, датчиків тиску та елементів живлення автоматики. Навіть часткове дублювання основних елементів дозволяє забезпечити контрольований режим зупинки обладнання у разі відмови основних компонентів, що зменшує ризик розвитку аварії за каскадним сценарієм.

У контексті організаційних заходів важливим є формування культури безпеки серед обслуговуючого персоналу. Це передбачає не лише формальні інструктажі, але й систематичне підвищення кваліфікації, моделювання аварійних ситуацій та практичне відпрацювання алгоритмів дій. Особливо ефективними є тренування, які імітують реальні умови відмови обладнання, оскільки вони дозволяють закріпити навички швидкого реагування безпосередньо в критичних умовах.

Додатково слід враховувати необхідність регулярного технічного аудиту котельного обладнання із залученням спеціалізованих організацій. Такий аудит дозволяє виявити приховані дефекти, оцінити знос основних вузлів і своєчасно прийняти рішення щодо ремонту або заміни обладнання. Особливо це стосується палинкових пристроїв та теплообмінників, від стану яких залежить стабільність процесу горіння та рівень утворення шкідливих викидів.

Не менш важливим є забезпечення належного технічного обліку та документації. Ведення журналів роботи котельні, фіксація параметрів експлуатації, результатів перевірок та обслуговування створює інформаційну базу, яка дозволяє аналізувати динаміку стану обладнання та прогнозувати

можливі відмови. Такий підхід є основою превентивної стратегії безпеки, коли акцент робиться не на ліквідації наслідків, а на запобіганні їх виникненню. Додатковим практичним напрямом підвищення рівня безпеки котельні є впровадження систем безперервного газового контролю з розміщенням стаціонарних датчиків метану та оксиду вуглецю у найбільш ризикових зонах: біля пальникового обладнання, у верхній частині приміщення (зона можливого накопичення газу) та поблизу запірної арматури. Такі датчики мають бути інтегровані в загальну систему автоматичного керування, щоб у разі перевищення порогових значень (наприклад, 10–20% НКМ для метану) відбувалося автоматичне перекриття подачі газу та активація аварійної вентиляції. Це дозволяє не лише фіксувати небезпечні концентрації, а й миттєво переходити до режиму аварійної стабілізації системи без участі персоналу.

Технічно обґрунтованим є також встановлення електромагнітних клапанів швидкого відсікання на вводі газопроводу в котельню. Їх функція полягає у миттєвому припиненні подачі газу при втраті живлення, спрацюванні сигналізації або відхиленні параметрів тиску. У поєднанні з реле контролю полум'я це створює багаторівневий бар'єр безпеки, який виключає можливість неконтрольованого надходження палива у топковий простір. Окремим технічним рішенням є модернізація системи вентиляції з переходом на комбінований режим роботи. У штатному режимі вентиляція повинна забезпечувати нормативний повітрообмін, розрахований з урахуванням тепловиділень обладнання, а в аварійному — переходити в режим підвищеної продуктивності. Це досягається встановленням частотнорегульованих вентиляторів, які автоматично збільшують кратність повітрообміну при спрацюванні датчиків газу або температури.

Для зниження ризику теплових аварій доцільним є впровадження системи контролю температури корпусу котла та димових газів у режимі реального часу. Встановлення додаткових термодатчиків на теплообміннику та виході димових газів дозволяє виявляти відкладення сажі або порушення

процесу горіння, що часто є передумовою перегріву обладнання. При перевищенні допустимих температур система повинна автоматично зменшувати подачу газу або переводити котел у режим пониженої потужності. Практично важливим заходом є також впровадження регламентованої системи планово-попереджувальних ремонтів із чіткою періодичністю. Наприклад, щомісячне очищення пальників і фільтрів, щоквартальна перевірка автоматики безпеки та щорічна ревізія теплообмінника і димової труби. Така система дозволяє знизити ймовірність раптових відмов обладнання, які є однією з основних причин аварій у малих котельнях. З точки зору експлуатаційної дисципліни доцільним є впровадження цифрового журналу роботи котельні з фіксацією ключових параметрів: тиск газу, температура подачі і звороту, витрата палива, кількість пусків/зупинок котла. Аналіз цих даних дозволяє виявляти аномальні режими роботи, такі як надмірна циклічність запусків або нестабільність температурного графіка, що часто свідчить про приховані технічні проблеми.

Окрему роль відіграє модернізація системи електроживлення котельні. Рекомендується використання джерел безперебійного живлення для автоматики та газового контролю, що гарантує працездатність захисних систем навіть при повному зникненні напруги в мережі. Це особливо важливо, оскільки знеструмлення без резервування часто призводить до зупинки вентиляції та втрати контролю над газовим обладнанням.

Також доцільно передбачити фізичне зонування котельного приміщення з виділенням окремих секторів: газового вузла, зони котла та зони електрообладнання. Таке розділення зменшує ризик каскадного поширення аварії та полегшує доступ до критичних елементів у разі необхідності швидкого реагування.

У підсумку, ефективна система запобігання надзвичайним ситуаціям у котельні повинна базуватися на принципі багатобар'єрного захисту, де кожен рівень — від датчиків і автоматики до організаційних процедур — виконує функцію дублювання та підстраховки. Саме поєднання технічної

модернізації, автоматизації та чітко регламентованої експлуатації забезпечує реальне зниження аварійності та стабільну роботу котельного обладнання в довгостроковій перспективі.

РОЗДІЛ 4. ТЕХНОЛОГІЧНІ ЗАХОДИ ЩОДО ЗМЕНШЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ НЕБЕЗПЕКИ

4.1. Обґрунтування вибору методів очищення димових газів від газоподібних та твердих домішок

Технологічні заходи щодо зменшення екологічної небезпеки в котельні Радивонівської гімназії насамперед спрямовані на мінімізацію викидів продуктів згоряння природного газу та підвищення повноти процесу горіння. Хоча природний газ належить до відносно чистих видів палива, у реальних умовах експлуатації котельного обладнання все одно формується певний спектр забруднюючих речовин, зокрема оксиди азоту, оксид вуглецю та сліди незгорілих вуглеводнів. Тому навіть для малопотужних котелень актуальним є впровадження систем доочищення димових газів та оптимізація режимів роботи пальникових пристроїв.

У даному випадку доцільним є застосування комплексу заходів, які не обмежуються лише встановленням очисного обладнання, а включають модернізацію самого процесу горіння. Першим і найбільш ефективним напрямом є використання низькоемісійних пальників із ступеневим подаванням повітря. Такі пальники дозволяють знизити пікову температуру в зоні горіння, що безпосередньо зменшує утворення термічних оксидів азоту. На практиці це дає змогу знизити концентрацію NO_x у димових газах у 1,5–2 рази порівняно зі стандартними пальниковими системами без додаткового очищення.

Додатково важливим є точне регулювання коефіцієнта надлишку повітря. При його завищенні зростають втрати тепла з димовими газами, а при заниженні — збільшується утворення оксиду вуглецю. Тому оптимальним є підтримання коефіцієнта надлишку повітря на рівні, близькому до 1,1–1,2, що забезпечує баланс між ефективністю горіння та мінімізацією шкідливих викидів. У сучасних системах це досягається шляхом встановлення автоматичних газоаналізаторів у димовому каналі з передачею сигналу на регулятор подачі повітря.

Щодо механічного очищення димових газів, у котельнях малої потужності найбільш доцільним є використання інерційних та фільтраційних методів. Хоча при спалюванні природного газу кількість твердих частинок є незначною, пил може утворюватися внаслідок зносу внутрішніх поверхонь теплообмінника та потрапляння мікрочастинок окалини. Для їх видалення ефективним є встановлення компактного циклону на виході з котла або у складі димової системи. Принцип його роботи базується на відцентрових силах, які відокремлюють тверді частинки від газового потоку. У практичних умовах це дозволяє зменшити вміст пилу в димових газах на 60–80% без значного збільшення енергетичних витрат.

Більш ефективним, але й дорожчим рішенням є застосування рукавних фільтрів. Вони забезпечують високий ступінь очищення навіть дрібнодисперсних частинок, однак для котелень малої потужності їх використання є економічно доцільним лише у випадках підвищених екологічних вимог. У таких системах ступінь очищення може досягати 95–99%, що практично виключає пилові викиди в атмосферу. Однак у даному об'єкті більш раціональним є комбінований підхід із використанням циклону та періодичного очищення теплообмінних поверхонь.

Для зменшення газоподібних домішок перспективним є впровадження технології рециркуляції димових газів. Частина відпрацьованих газів повертається у зону горіння, що дозволяє знизити температуру полум'я та відповідно зменшити утворення оксидів азоту. Такий метод особливо ефективний у котлах середньої та малої потужності, де можна досягти зниження NO_x на 20–40% без суттєвої реконструкції обладнання.

Ще одним технічним рішенням є використання конденсаційних економайзерів. Вони дозволяють не лише зменшити температуру димових газів, але й частково утилізувати приховану теплоту водяної пари, що міститься у продуктах згоряння. У результаті підвищується загальний ККД системи, а також зменшується обсяг викидів CO_2 на одиницю виробленої

теплової енергії. На практиці це може забезпечити економію газу до 10–15% залежно від режиму роботи котла.

Важливим аспектом є також підтримання чистоти теплообмінних поверхонь, оскільки навіть незначні відкладення сажі або накипу призводять до погіршення теплопередачі та неповного згоряння палива. Регулярне механічне або хімічне очищення дозволяє підтримувати стабільний режим роботи та зменшувати утворення СО. У практичних умовах це один із найпростіших, але водночас найбільш ефективних способів зниження екологічного навантаження.

Додатково слід враховувати, що ефективність будь-яких систем очищення димових газів у котельні напряму залежить від стабільності гідравлічного та теплотехнічного режиму роботи обладнання. Навіть найсучасніші очисні рішення не забезпечують очікуваного результату, якщо процес горіння є нестабільним або супроводжується частими пусками і зупинками котла. Саме тому одним із ключових технологічних заходів є переведення котельні в режим максимально рівномірного навантаження шляхом автоматичного погодозалежного регулювання теплової потужності. Це дозволяє уникнути різких коливань температури в топці, які безпосередньо впливають на утворення оксидів азоту.

Практично важливим рішенням є також впровадження системи попереднього підігріву повітря, що подається на горіння. У такому випадку підвищується ефективність згоряння природного газу, зменшується частка недопалу та стабілізується фронт полум'я. У результаті знижується концентрація оксиду вуглецю в димових газах, а також підвищується загальний коефіцієнт корисної дії котла. У малих котельнях це може реалізовуватись через рекуперативні теплообмінники, які використовують тепло відхідних газів для нагріву повітря.

Окремий ефект дає модернізація димової системи шляхом збільшення її аеродинамічної ефективності. Зменшення гідравлічного опору димових каналів сприяє стабільній тязі, що є критично важливим для повного згоряння

палива. На практиці це досягається шляхом заміни застарілих ділянок димоходу, усунення різких поворотів та забезпечення належної теплоізоляції, яка запобігає конденсації продуктів згоряння. Конденсат у димових каналах не лише знижує ефективність тяги, але й сприяє корозії металевих елементів, що з часом може призвести до аварійних витоків.

Для зменшення газоподібних викидів перспективним є також використання каталітичних нейтралізаторів, які забезпечують окиснення оксиду вуглецю до діоксиду вуглецю та часткове зниження концентрації незгорілих вуглеводнів. Хоча такі системи частіше застосовуються в промислових установках, їх компактні модифікації можуть використовуватися і в котельнях середньої потужності. Ефективність таких пристроїв може досягати 70–90% щодо СО за умови стабільного температурного режиму роботи.

З практичної точки зору важливим є впровадження системи оперативного контролю якості димових газів із можливістю автоматичного коригування процесу горіння. Наприклад, встановлення кисневих датчиків у димовому каналі дозволяє в реальному часі регулювати подачу повітря, підтримуючи оптимальний режим спалювання палива. Це зменшує як надлишкове споживання газу, так і рівень шкідливих викидів, особливо в перехідні періоди опалювального сезону, коли навантаження на котел є нестабільним. Ще одним конкретним напрямом є застосування теплоутилізаційних систем з конденсацією водяної пари. У процесі охолодження димових газів нижче точки роси відбувається виділення додаткової теплоти, яка може бути повернена в систему опалення. Це дозволяє одночасно зменшити температуру викидів і скоротити витрати палива. Крім того, зниження температури димових газів сприяє зменшенню їх об'ємного потоку, що безпосередньо знижує навантаження на атмосферу.

У комплексі важливим є також правильне проектування режимів технічного обслуговування очисного обладнання. Наприклад, циклони потребують періодичного очищення від накопиченого пилу, а теплообмінні

поверхні — регулярного видалення відкладень. Ігнорування цих процедур призводить до різкого падіння ефективності систем очищення та може викликати вторинне підвищення викидів, навіть при наявності сучасного обладнання.

Таким чином, технологічні заходи щодо зменшення екологічної небезпеки в котельні повинні розглядатися як інтегрована система, що включає не лише встановлення очисних пристроїв, а й глибоку модернізацію процесу горіння, автоматизацію регулювання, оптимізацію аеродинаміки димових каналів та впровадження енерготехнологічної утилізації тепла. Лише поєднання цих рішень забезпечує стабільне зниження викидів забруднюючих речовин у довгостроковій перспективі та підвищення загальної екологічної ефективності котельні.

4.2. Розрахунок та проектування очисного обладнання

Для котельні Радивонівської гімназії потужністю 100 кВт доцільним очисним обладнанням для первинного очищення димових газів від твердих частинок є інерційний циклон. Незважаючи на те, що при спалюванні природного газу концентрація пилу є низькою, його джерелом можуть бути продукти корозії теплообмінника, мікрочастинки окалини, а також домішки, що потрапляють із повітрям. Встановлення циклону дозволяє стабілізувати показники викидів і забезпечити додатковий рівень екологічної безпеки.

Вихідними даними для розрахунку приймаємо витрату димових газів котельні. Для котла 100 кВт орієнтовна теплова витрата палива становить приблизно 11–12 м³/год природного газу. З урахуванням коефіцієнта надлишку повітря та утворення продуктів згоряння, об'єм димових газів приймається на рівні:

$$Q \approx 250\text{--}300 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$\text{Для розрахунку приймаємо } Q = 280 \text{ м}^3/\text{год} = 0,078 \text{ м}^3/\text{с}$$

Для вибору циклону використаємо стандартний високоефективний циклон типу ЦН-15, який широко застосовується для малих котелень.

Продуктивність циклону визначається за площею вхідного патрубку:

$$F_{ex} = Q / v$$

де:

Q — витрата газів, $\text{м}^3/\text{с}$ v — швидкість газів у вхідному патрубку (приймаємо 15–18 $\text{м}/\text{с}$) Приймаємо $v = 16 \text{ м}/\text{с}$:

$$F_{вх} = 0,078 / 16 = 0,004875 \text{ м}^2 \approx 0,0049 \text{ м}^2$$

Далі визначаємо діаметр вхідного патрубку (еквівалентний):

$$d_{вх} = \sqrt{(4F/\pi)}$$

$$d_{вх} = \sqrt{(4 \times 0,0049 / 3,14)} \approx 0,079 \text{ м} \approx 80 \text{ мм}$$

Таким чином, для даної котельні доцільно застосувати циклон із вхідним патрубком діаметром 80 мм.

Розрахунок діаметра корпусу циклону виконується за емпіричним співвідношенням для типу ЦН-15:

$$D = d_{вх} \times 5$$

$$D = 0,08 \times 5 = 0,40 \text{ м}$$

Отже, діаметр циклону приймається 400 мм.

Висота циклону визначається як:

$$H = (4-5) \times D$$

Приймаємо середнє значення 4,5:

$$H = 4,5 \times 0,4 = 1,8 \text{ м}$$

Таким чином, геометричні параметри циклону становлять:

– діаметр корпусу: 0,4 м

– висота: 1,8 м

– діаметр вхідного патрубку: 0,08 м

Ефективність очищення циклону залежить від дисперсного складу пилу. Для частинок розміром понад 10 мкм ефективність становить 85–95%, для дрібніших — 60–70%. У нашому випадку основна частка пилу є крупнодисперсною, тому середня ефективність приймається:

$$\eta \approx 80\%$$

Концентрація пилу на вході для газових котелень малої потужності становить орієнтовно 30–50 мг/м³. Приймаємо 40 мг/м³.

Тоді концентрація на виході:

$$C_{вих} = C_{вх} \times (1 - \eta)$$

$$C_{вих} = 40 \times (1 - 0,8) = 8 \text{ мг/м}^3$$

Це забезпечує відповідність санітарним нормам для викидів малих котелень.

Для підвищення ефективності системи очищення циклон доцільно встановлювати перед димовою трубою після теплообмінника, де температура газів становить 120–180°C. Це оптимальний діапазон для зменшення втрат тиску та уникнення конденсації.

Також у проєкті передбачено гідравлічний опір циклону:

$$\Delta P = 800\text{--}1200 \text{ Па}$$

Приймаємо середнє значення:

$$\Delta P \approx 1000 \text{ Па}$$

Це значення є прийнятним для малих котелень і не потребує додаткового підсилення димососа.

Як альтернативу для підвищення ступеня очищення можна розглянути рукавний фільтр. Його ефективність сягає 98–99%, однак він потребує більш

складного обслуговування та стабільного режиму роботи без значних коливань температури. Для даної котельні це рішення є технічно надмірним і економічно недоцільним. Скрубер мокрого очищення також може застосовуватися для одночасного вилучення пилу та частково газоподібних домішок, однак він потребує водопідготовки, системи нейтралізації стоків та додаткових експлуатаційних витрат, що для об'єкта соціальної інфраструктури є недоцільним.

Таким чином, найбільш раціональним технічним рішенням для котельні Радивонівської гімназії є циклон ЦН-15 з діаметром 400 мм, який забезпечує достатній рівень очищення димових газів при мінімальних експлуатаційних витратах, простоті обслуговування та високій надійності роботи в умовах сезонного навантаження.

4.3. Рекомендації щодо переведення котельні на екологічно безпечніші види палива (біомаса, пелети) або встановлення конденсаційних економайзерів

Підвищення екологічної ефективності котельні Радивонівської гімназії може здійснюватися у двох основних напрямках: модернізація паливної бази із переходом на відновлювані види палива (біомаса, пелети) або підвищення ефективності існуючої газової установки шляхом впровадження конденсаційних технологій утилізації теплоти димових газів. Вибір між цими варіантами залежить від технічних умов об'єкта, економічної доцільності, доступності палива та вимог до безперервності теплопостачання.

Перехід на тверде біопаливо, зокрема деревні пелети, є одним із найбільш поширених напрямів декарбонізації систем теплопостачання. Пелети мають відносно стабільні теплотехнічні характеристики, низьку вологість (до 10%) та високий коефіцієнт згоряння. При їх використанні викиди CO₂ вважаються умовно нейтральними, оскільки вуглець, що виділяється при згорянні, був раніше поглинутий біомасою під час росту рослин. У порівнянні з природним газом, використання пелет дозволяє

зменшити залежність від викопних енергоресурсів, однак супроводжується значним збільшенням твердих викидів, зокрема золи та пилу.

Для переходу на біомасу необхідна повна або часткова заміна котельного обладнання, оскільки існуючий котел МАЯК АОГВ-100Е не призначений для спалювання твердого палива. Потрібне встановлення твердопаливного котла з автоматичною подачею пелет, системою видалення золи та розширеним складським приміщенням для зберігання палива. Додатково необхідно передбачити систему аспірації та більш потужне очисне обладнання, наприклад рукавні фільтри або мультициклонні установки, оскільки рівень пилових викидів при спалюванні біомаси є значно вищим. У практичних умовах концентрація пилу може зростати у 10–20 разів порівняно з газовими котлами, що суттєво ускладнює екологічний контроль.

З точки зору експлуатації, перехід на пелети також змінює режим роботи котельні. Замість стабільного автоматизованого процесу з'являється потреба у систематичному обслуговуванні паливоподачі, видаленні золи та контролі якості палива. Це підвищує трудомісткість експлуатації та потребує додаткового персоналу. Тому для невеликих об'єктів соціальної сфери такий варіант часто є технічно складним і економічно менш вигідним, незважаючи на його екологічний потенціал.

Більш реалістичним та раціональним рішенням для даного об'єкта є встановлення конденсаційного економайзера при збереженні існуючого газового котла. Конденсаційна технологія дозволяє використовувати приховану теплоту водяної пари, яка міститься у продуктах згоряння природного газу. При охолодженні димових газів нижче точки роси (приблизно 55°C) відбувається конденсація водяної пари з виділенням додаткової енергії, яка повертається у систему опалення.

У результаті впровадження конденсаційного економайзера можна досягти підвищення загального коефіцієнта корисної дії котельної установки до 95–98% у конденсаційному режимі. Це безпосередньо призводить до зменшення витрати природного газу на 10–15% залежно від температурного

графіка системи опалення. Відповідно зменшуються і викиди CO_2 , NO_x та CO , оскільки вони прямо пропорційні обсягу спаленого палива.

Практичним прикладом ефективності такої модернізації є зниження річного споживання газу з умовних 20–22 тис. m^3 до 17–19 тис. m^3 для котелень подібної потужності. Це дає не лише екологічний ефект, але й суттєву економію експлуатаційних витрат. Додатково конденсаційний блок знижує температуру димових газів до 40–60°C, що зменшує тепловий вплив на атмосферу та підвищує загальну енергоефективність системи.

Важливо враховувати, що при використанні конденсаційного економайзера утворюється конденсат, який має слабокислу реакцію через розчинення оксидів азоту та вуглецю. Тому необхідно передбачити систему нейтралізації конденсату перед його відведенням у каналізацію. Найчастіше застосовуються прості нейтралізаційні фільтри на основі кальцитових або магнезитових матеріалів. У порівнянні з переходом на біомасу, конденсаційна модернізація не потребує повної заміни котельного обладнання, не змінює структуру паливного господарства і не вимагає додаткових складських площ. Це робить її найбільш доцільною для шкільних та комунальних котелень малої потужності, де важливими є простота експлуатації та стабільність роботи.

Таким чином, аналіз показує, що хоча перехід на біопаливо є стратегічно перспективним з точки зору декарбонізації, для котельні Радивонівської гімназії найбільш раціональним і економічно обґрунтованим рішенням є впровадження конденсаційного економайзера. Такий підхід забезпечує одночасне зменшення витрати палива, скорочення викидів забруднюючих речовин та підвищення загальної енергоефективності системи без суттєвого ускладнення експлуатації.

4.4. Пропозиції щодо утилізації або вторинного використання золошлакових відходів

Для котельні Радивонівської гімназії, яка працює на природному газі, утворення золошлакових відходів є мінімальним і має епізодичний характер, однак у процесі експлуатації все одно формуються певні технічні відходи. До них належать відкладення в теплообмінних поверхнях (пилові та корозійні частинки), залишки після очищення димових каналів, відпрацьовані фільтрувальні елементи, а також дрібнодисперсні продукти, що можуть осідати у системі димоходу. Незважаючи на невеликий обсяг, ці відходи підлягають обов'язковому обліку та екологічно безпечному поводженню відповідно до вимог природоохоронного законодавства.

Основним принципом організації роботи з такими відходами є їх класифікація за рівнем небезпечності та визначення оптимального способу подальшого поводження. Для газових котелень більшість відходів належить до IV класу небезпеки, тобто є малонебезпечними, однак це не виключає необхідності їх збору, тимчасового зберігання та передачі спеціалізованим організаціям. На практиці такі відходи не можуть бути утилізовані безпосередньо на території закладу і підлягають централізованому вивезенню. Одним із найбільш доцільних напрямів є організація системи роздільного збору технічних відходів у межах котельні. Для цього передбачаються окремі контейнери або герметичні ємності для збору пилових відкладень, відпрацьованих фільтрів та забруднених матеріалів після технічного обслуговування. Такий підхід дозволяє запобігти вторинному розповсюдженню пилу та зменшити ризик локального забруднення приміщення котельні.

Щодо можливостей вторинного використання, варто зазначити, що у випадку природного газу як палива золошлакові відходи не мають значного енергетичного потенціалу, однак можуть використовуватися як інертний матеріал у будівельних або технічних цілях після відповідної обробки.

Наприклад, дрібнодисперсні мінеральні відкладення можуть застосовуватися як компонент для засипки нерівностей або як добавка до будівельних сумішей у неструктурних елементах, за умови підтвердження їх безпечного хімічного складу.

Більш практичним напрямом є передача таких відходів спеціалізованим підприємствам, які займаються утилізацією промислових відходів. У цьому випадку відходи проходять сортування, пресування або стабілізацію і можуть використовуватися у дорожньому будівництві як мінеральні добавки або у виробництві бетонних сумішей низького класу. Хоча для газових котельнь обсяги таких матеріалів невеликі, їх централізована утилізація забезпечує відповідність екологічним стандартам та зменшує навантаження на полігони твердих побутових відходів.

Окрему увагу слід приділити поводженню з відпрацьованими фільтрувальними матеріалами та елементами систем очищення. Вони можуть містити концентрації пилу та мікрочастинок металів, тому повинні збиратися в герметичну тару та передаватися на утилізацію як змішані технічні відходи. Їх повторне використання у межах котельні є недоцільним через втрату фільтраційних властивостей. З екологічної точки зору важливим є також запобігання вторинному розсіюванню відходів у навколишнє середовище. Для цього необхідно забезпечити регулярне прибирання котельного приміщення із застосуванням промислових пилососів або вологого очищення, що дозволяє мінімізувати підйом пилу в повітря. Особливо це актуально під час проведення технічного обслуговування або ремонту обладнання.

Таким чином, система поводження із золошлаковими та технічними відходами котельні повинна базуватися на принципах мінімізації утворення відходів, їх безпечного збору, тимчасового зберігання та подальшої передачі на утилізацію спеціалізованим організаціям.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання роботи, присвяченої техніко-екологічній модернізації котельні Радивонівської гімназії, було здійснено комплексний аналіз функціонування об'єкта малої теплової енергетики, оцінено його техногенний вплив на навколишнє середовище та розроблено практичні рекомендації щодо підвищення екологічної безпеки й енергоефективності. Отримані результати дозволяють сформулювати цілісне уявлення про сучасний стан котельні, основні екологічні ризики та потенційні напрями її модернізації.

У межах першого розділу встановлено, що котельня Радивонівської гімназії є типовим об'єктом автономного тепlopостачання малої потужності, який функціонує на базі газового водогрійного котла МАЯК АОГВ-100Е. Об'єкт характеризується сезонним режимом роботи, відносно простою технологічною структурою та середнім рівнем автоматизації. Основним енергоносієм є природний газ, що забезпечує стабільний процес горіння та порівняно низький рівень твердих викидів. Водночас встановлено, що навіть за умов використання більш екологічного палива зберігається проблема викидів оксидів азоту, оксиду вуглецю та парникових газів, які формують основне екологічне навантаження на атмосферне повітря.

Аналіз технологічного процесу показав, що виробництво теплової енергії базується на класичному принципі перетворення хімічної енергії природного газу у теплову з подальшою передачею теплоносію через теплообмінні поверхні котла. Процес є безперервним та циклічним, однак його ефективність значною мірою залежить від режиму горіння, стану обладнання та правильності налаштування системи подачі повітря і палива. Встановлено, що навіть незначні відхилення у співвідношенні «паливо—повітря» можуть призводити до зростання концентрацій шкідливих речовин у димових газах.

У ході ідентифікації джерел забруднення визначено, що основним організованим джерелом впливу є димова труба котельні, через яку здійснюється викид продуктів згорання. Додатковими джерелами є теплові втрати через обладнання, а також незначні виробничі відходи, що утворюються під час технічного обслуговування. Встановлено, що вплив на ґрунти та водні ресурси є мінімальним і носить переважно непрямий характер, однак теплове та газове забруднення атмосфери має локальне значення та потребує контролю.

Аналіз існуючої системи екологічного моніторингу показав, що вона має дискретний характер і базується переважно на періодичних вимірюваннях та технічному контролі обладнання. Відсутність безперервного автоматизованого моніторингу не дозволяє здійснювати оперативне управління викидами, що є типовим для об'єктів малої енергетики, але водночас обмежує можливості швидкого реагування на зміну екологічних параметрів. У зв'язку з цим обґрунтовано необхідність впровадження сучасних систем контролю якості димових газів у режимі реального часу.

У другому розділі виконано оцінку рівня забруднення атмосферного повітря, включаючи аналіз основних забруднюючих речовин та їх розповсюдження у приземному шарі атмосфери. Встановлено, що концентрації оксидів азоту та оксиду вуглецю формують основну частку екологічного навантаження, однак за умови правильної організації процесу горіння та достатньої висоти димової труби рівні забруднення не перевищують гранично допустимих концентрацій. Моделювання розсіювання показало, що максимальні концентрації спостерігаються у безпосередній близькості до джерела викиду та швидко зменшуються зі збільшенням відстані, що пояснюється відносно малою потужністю котельні.

Оцінка впливу на ґрунти та підземні води засвідчила, що при використанні природного газу як палива відсутні суттєві ризики накопичення токсичних речовин у ґрунтовому середовищі. Потенційний вплив обмежується можливими локальними забрудненнями у разі аварійних

ситуації або неналежного поводження з технічними відходами. Порівняння розрахункових концентрацій із гранично допустимими значеннями підтвердило відповідність нормативним вимогам, що свідчить про відносно безпечний рівень функціонування об'єкта за поточних умов.

У розділі, присвяченому екологічній безпеці в надзвичайних ситуаціях, встановлено, що основними потенційними небезпеками для котельні є витoki природного газу, порушення режиму горіння, перегрів обладнання, відмова систем автоматики та виникнення пожежонебезпечних ситуацій. Аналіз показав, що найбільш критичним фактором є можливість накопичення вибухонебезпечних концентрацій газу у разі розгерметизації системи. У зв'язку з цим визначено необхідність регулярного контролю герметичності газових магістралей, справності запірної арматури та систем автоматичного відключення подачі палива.

Розроблені заходи щодо запобігання надзвичайним ситуаціям передбачають комплекс організаційних і технічних рішень, спрямованих на підвищення рівня безпеки експлуатації. До них належать періодичні технічні огляди, впровадження систем сигналізації витoku газу, модернізація автоматики безпеки, а також підготовка персоналу до дій у аварійних ситуаціях. Встановлено, що реалізація таких заходів суттєво знижує ризик виникнення аварійних ситуацій та підвищує загальну надійність системи теплопостачання.

У четвертому розділі обґрунтовано технологічні заходи щодо зменшення екологічної небезпеки котельні. Встановлено, що найбільш ефективними є рішення, спрямовані на оптимізацію процесу горіння, підвищення енергоефективності та впровадження систем утилізації теплоти димових газів. Розрахунок і проектування циклону показали, що використання інерційного пиловловлювача дозволяє зменшити концентрацію твердих частинок у викидах до безпечного рівня при мінімальних експлуатаційних витратах.

Аналіз альтернативних технологій очищення показав, що рукавні фільтри та скрубери забезпечують вищий рівень очищення, однак є економічно та технічно недоцільними для об'єктів малої потужності. Найбільш раціональним є використання комбінованого підходу, що включає оптимізацію режимів горіння та застосування простих інерційних систем очищення.

Дослідження можливостей переходу на альтернативні види палива показало, що використання біомаси та пелет має екологічний потенціал, однак потребує повної заміни котельного обладнання та суттєво змінює структуру експлуатації. У той же час впровадження конденсаційних економайзерів є більш доцільним рішенням для даного об'єкта, оскільки дозволяє підвищити ККД, зменшити споживання природного газу та скоротити викиди без значної реконструкції системи. Окремо встановлено, що система поводження з відходами котельні потребує впорядкування шляхом впровадження роздільного збору технічних відходів та їх передачі спеціалізованим організаціям для утилізації. Це дозволяє мінімізувати ризик вторинного забруднення та забезпечити відповідність екологічним вимогам.

Загалом результати роботи свідчать, що котельня Радивонівської гімназії функціонує у межах допустимих екологічних нормативів, однак має потенціал для суттєвого підвищення енергоефективності та зниження техногенного навантаження. Запропоновані технічні та організаційні заходи дозволяють комплексно вирішити питання модернізації об'єкта, забезпечивши поєднання економічної ефективності, енергозбереження та екологічної безпеки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» від 25.06.1991 № 1264-ХІІ.
2. Закон України «Про охорону атмосферного повітря» від 16.10.1992 № 2707-ХІІ.
3. Закон України «Про управління відходами» від 20.06.2022 № 2320-ІХ.
4. Закон України «Про енергозбереження» від 01.07.1994 № 74/94-ВР.
5. Закон України «Про альтернативні види палива» від 14.01.2000 № 1391-ХІV.
6. Закон України «Про енергетичну ефективність» від 21.10.2021 № 1818-ІХ.
7. Водний кодекс України від 06.06.1995 № 213/95-ВР.
8. Земельний кодекс України від 25.10.2001 № 2768-ІІІ.
9. Податковий кодекс України від 02.12.2010 № 2755-ВІ.
10. Закон України «Про оцінку впливу на довкілля» від 23.05.2017 № 2059-ВІІІ.
11. ДБН В.2.5-77:2014. Котельні.
12. ДБН В.2.5-20-2018. Газопостачання.
13. ДБН В.1.2-14:2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівель і споруд.
14. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування.
15. ДБН В.2.5-39:2008. Теплові мережі.
16. ДСП 201-97. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць.

17. ДСП 173-96. Планування та забудова населених пунктів.

18. ДСанПіН 2.2.7.029-99. Гігієнічні вимоги щодо поводження з промисловими відходами.

19. ДСТУ ISO 14001:2015. Системи екологічного управління.

Вимоги та настанови щодо застосування.

20. ДСТУ ISO 14004:2016. Системи екологічного менеджменту.

Загальні настанови.

21. ДСТУ ISO 50001:2020. Системи енергетичного менеджменту.

22. ДСТУ EN 303-5:2016. Котли опалювальні. Частина 5.

23. ДСТУ EN 303-1:2013. Котли опалювальні. Загальні технічні вимоги.

24. ДСТУ EN 13284-1:2016. Викиди стаціонарних джерел.

Визначення пилу.

25. ДСТУ ISO 9096:2006. Викиди в атмосферу. Відбір проб.

26. ДСТУ ISO 7935:2005. Викиди газів. Вимірювання концентрацій.

27. Енергетична стратегія України до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність», схвалена розпорядженням КМУ від 18.08.2017 № 605-р.

28. Національний план скорочення викидів від великих опалювальних установок, затверджений КМУ.

29. План заходів з підвищення енергоефективності України, затверджений КМУ.

30. Концепція реалізації державної політики у сфері енергоефективності будівель.

31. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України.

Офіційний вебсайт: <https://mepr.gov.ua>

32. Державна екологічна інспекція України. Звіти про стан довкілля.

<https://dei.gov.ua>

33. Державна служба статистики України. Статистичні дані з екології. <https://ukrstat.gov.ua>

34. ДСНС України. Звіти щодо техногенної безпеки.

<https://dsns.gov.ua>

35. НЕК «Укренерго». Аналітичні звіти. <https://ua.energy>

36. НАК «Нафтогаз України». Звіти та аналітика. <https://naftogaz.com>

37. Інститут відновлюваної енергетики НАН України. Наукові праці.

<https://ive.org.ua>

38. Інститут загальної енергетики НАН України. Публікації.

<https://ienergy.kiev.ua>

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА"
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ НАФТИ І ГАЗУ ТА ЕНЕРГЕТИКИ
КАФЕДРА ПРИКЛАДНОЇ ЕКОЛОГІЇ ТА ХІМІЇ



КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

на тему: **«Розробка пропозицій техніко-екологічної модернізації
котельні гімназії у Великобагачанській громаді»**

Студент групи 401-ВТ
Спеціальність 183 «Технології
захисту навколишнього середовища
Керівник – д.т.н., доцент

ЯРОШЕНКО Ярослав Сергійович

БРЕДУН Віктор Іванович

Полтава - 2026

Актуальність, мета та завдання дослідження

АКТУАЛЬНІСТЬ

Особливої актуальності набуває питання модернізації котелень закладів освіти, оскільки вони розташовані поблизу місць перебування дітей. Рациональне використання енергоресурсів та зменшення викидів є важливими напрямками забезпечення сталого розвитку.

МЕТА

Оцінка техногенного впливу котельні Радивонівської гімназії на довкілля та розроблення комплексу техніко-екологічних заходів для підвищення екологічної безпеки й енергоефективності.

ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Котельня Радивонівської гімназії, оснащена газовим водогрійним котлом МАЯК АОГВ-100Е тепловою потужністю 100 кВт.

ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1. Дослідити технологічний процес теплогенерації та визначити джерела викидів.
2. Розрахувати характеристики викидів, змоделювати їх розсіювання та порівняти з ГДК.
3. Проаналізувати небезпечні фактори та розробити заходи попередження аварій.
4. Обґрунтувати вибір технологій очищення та заходи з енергозбереження.

ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Технічні та екологічні показники роботи котельні та шляхи їх покращення шляхом модернізації обладнання.

				401-ВТ 10291701.КРБ		
				Розробка пропозицій техніко-екологічної модернізації котельні гімназії у Великодагачанській громаді		
Зм	Лист	Документ	Питис	Дата	Старий	Листів
Розробив	Вірошенко	А.С.			КРБ	2
Перевірив	Бредун	В.І.				12
				Слайд № 2		
				Актуальність, мета та завдання дослідження		НУ ім. Ю.Кондратюка Кафедра прикладної екології та хімії
Зробив	корр.	В.Ляш	О.Е.			

ХАРАКТЕРИСТИКА КОТЕЛЬНОЇ ТА КОТЛА МАЯК АОГВ-100Е

100 кВт

Теплова потужність

85–92%

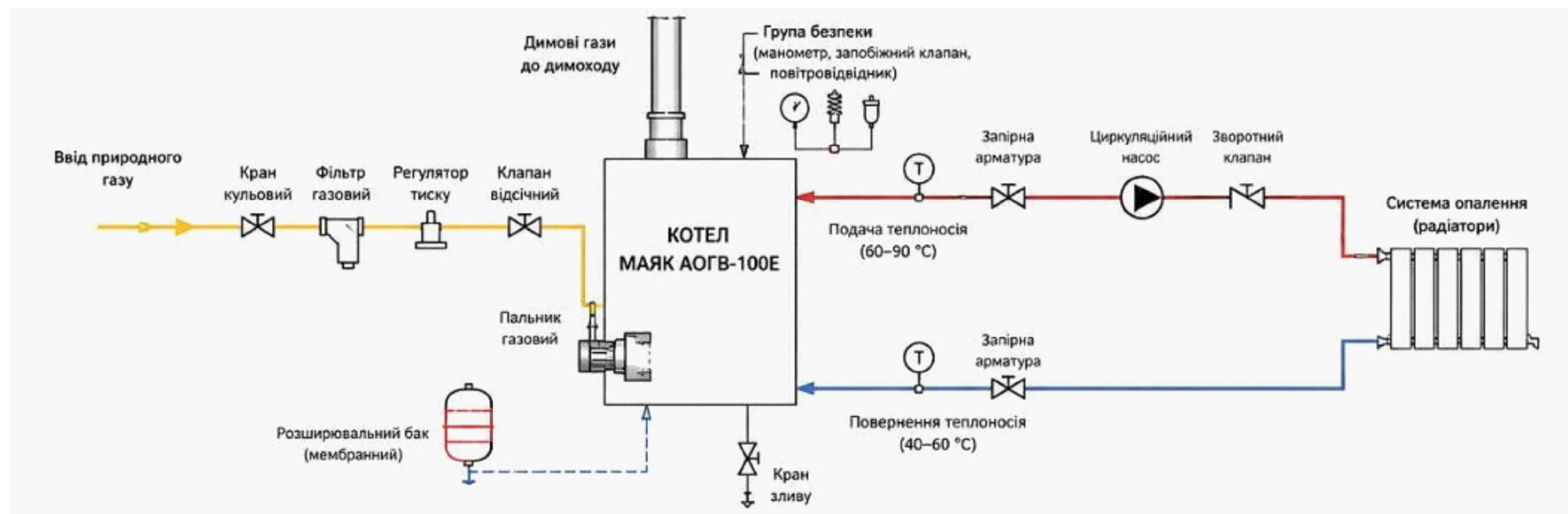
ККД котла

60–90°C

Температура подачі

~11.8 м³/год

Витрата газу



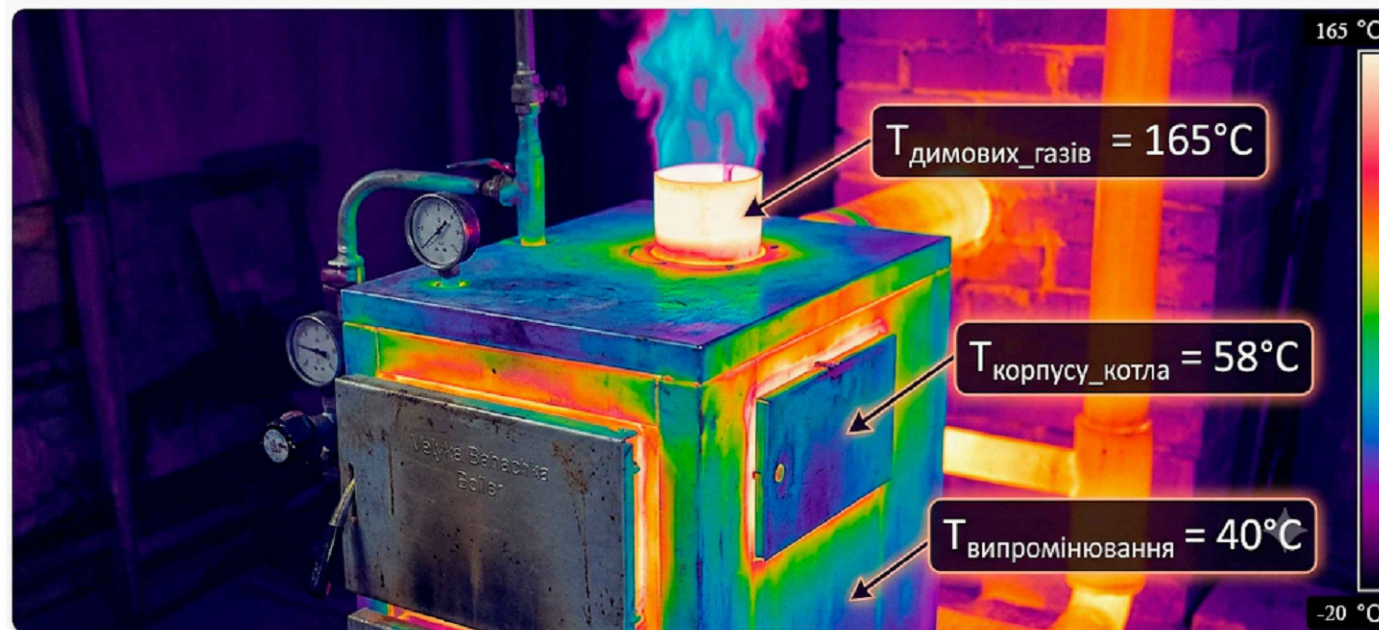
				401-ВТ 10291701.КРБ		
				Розробка пропозицій техніко-екологічної модернізації котельні гімназії у Великобагачанській громаді		
Зм.	Лист	Документ	Пегис	Дата	Старий	Лист
Розробив	Уточнено	Я.С.			КРБ	3
Перевірив	Бредун	В.І.				12
				Слайд № 3		
				Характеристика котельні та котла МАЯК АОГВ-100Е		
				НЗ ім. Ю.Кондратюка Кафедра прикладної екології та хімії		
				Зоб. код: Уляш О.Е.		

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ДЖЕРЕЛ УТВОРЕННЯ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН

4

ТЕПЛОВІ ВТРАТИ

Димові гази (120–180°C)
Втрати через корпус котла
Випромінювання від обладнання



АТМОСФЕРНІ ВИКИДИ

Джерело: спалювання природного газу
NO_x — термічне окиснення N₂ повітря
CO — неповне згоряння палива
CO₂ — парниковий газ
SO₂ — мінімум (майже немає S у газі)
Пил — мікродомішки, аерозолі
Вихід: через димову трубу

ТЕХНІЧНІ ВІДХОДИ

Пилові відкладення — клас IV
Продукти корозії — клас IV
Відпрацьовані фільтри — клас IV
Зола/шлак — практично відсутні ✓

					401-ВТ 10291701.КРБ		
					Розробка пропозицій техніко-екологічної модернізації котельні гімназії у Великобагачанській громаді		
Зм.	Лист	Документ	Парис	Дата	Старий	Лист	Листів
Розробив	Уточнено	Я.С.			КРБ	4	12
Перевірив	Бредун	В.І.					
					Ідентифікація джерел утворення забруднюючих речовин		
					ІН. Ю.Кондратюк Кафедра прикладної екології та хімії		
					Зоб. курс ВЛЛЯШ О.Е.		

РОЗРАХУНОК ХАРАКТЕРИСТИК ВИКИДІВ

Вихідні дані розрахунку

Потужність $P = 100$ кВт | ККД $\eta = 0,90$
 $Q\eta = 34$ МДж/м³ → $V = 11,8$ м³/год
 Тривалість сезону: 2 400 год/рік

Речовина	Коеф. г/м ³	г/год	кг/рік
NO _x (NO ₂)	0,80	9,44	~22,7
CO	0,30	3,54	~8,5
SO ₂	0,01	0,12	~0,29
Пил	0,02	0,24	~0,58

NO_x

Основний
забруднювач
для газових котелень

$$M_i = V \times EFi$$

де EFi — питомий
коефіцієнт викиду г/м³

				401-ВТ 10291701.КРБ		
				Розробка пропозицій техніко-екологічної модернізації котельні гімназії у Великобагачанській громаді		
Зм.	Лист	Документ	Пегис	Дата	Сторінка	Листів
		Розробив Ярошенко Я.С.			КРБ	5
		Перевірив Брегун В.І.				12
				Розрахунок характеристик викидів		НЗ ім. Ю.Кондратюка Кафедра прикладної екології та хімії
				Зад. корд. В.Ляш О.Е.		

МОДЕЛЮВАННЯ РОЗСІЮВАННЯ ТА ПОРІВНЯННЯ З ГДК

Речовина	Розрахункова, мг/м ³	ГДК с/д, мг/м ³	Частка від ГДК
NO ₂	0,045	0,04	0,53 ГДК
CO	0,80	3,0	0,27 ГДК
SO ₂	0,005	0,05	0,10 ГДК
Пил	0,010	0,15	0,07 ГДК

✓ Жодних перевищень ГДК не виявлено. Найближчий до норми показник — NO₂ (~53% від ГДК max).

Параметри розсіювання:

- Ефективна висота викиду ~10 м
- Швидкість вітру 3–5 м/с
- Зона впливу: до 100–150 м від джерела

					401-ВТ 10291701.КРБ		
					Розробка пропозицій техніко-екологічної модернізації котельні гімназії у Великобагачанській громаді		
					Слайд № 6		
					Модельовання розсіювання та порівняння з ГДК		
					НЧ ін. Я. Кондратюк Кафедра прикладної екології та хімії		
Зм	Лист	Документ	Питис	Дата	Стаття	Лист	Листів
Розробив	Ярошенко Я.С.				КРБ	6	12
Перевірив	Бредун В.І.						
Заб. кофр.	В.Ляш О.Е.						

НЕБЕЗПЕЧНІ ФАКТОРИ В УМОВАХ НС

7

Вибухопожежна небезпека

- Витік природного газу та формування вибухонебезпечних газоповітряних сумішей (ГПС).
- Швидке накопичення метану в підстельовому просторі через збої вентиляції.
- Досягнення нижньої концентраційної межі вибуховості (НКМВ).

Теплові фактори

- Аварійне факельне горіння та критичне теплове випромінювання від обладнання.
- Термічна деформація металоконструкцій котла та пошкодження теплоізоляції.
- Виділення токсичних продуктів під час термічного розкладання матеріалів.

Токсичне забруднення

- Виділення високотоксичного СО та оксидів азоту при неповному згорянні палива.
- Накопичення чадного газу в приміщенні внаслідок виникнення зворотної тяги.
- Ускладнене своєчасне виявлення загрози через відсутність кольору та запаху в СО.

Електричні та фізичні

- Коротке замикання та іскроутворення як потенційне джерело запалювання ГПС.
- Аварійне знеструмлення, що призводить до раптової зупинки циркуляційних насосів.
- Інтенсивне акустичне (шумове) навантаження та підвищена вібрація.

					401-ВТ 10291701.КРБ		
					Розробка пропозицій техніко-екологічної модернізації котельні гімназії у Великобагачанській громаді		
Зм	Лист	Документ	Піпис	Дата	Старий	Лист	Листів
Розробив	Перевірив	Уточнено			КРБ	7	12
		Бредун В.І.					
					Небезпечні фактори в умовах НС		
					НУ ім. Я.Кондратюка Кафедра прикладної екології та хімії		
					Зоб. нору В.Ляш О.Е.		

ЗАХОДИ ЩОДО ЗАПОБІГАННЯ НАДЗВИЧАЙНИМ СИТУАЦІЯМ

Технічні заходи

- Встановлення стаціонарних датчиків метану (CH₄) та оксиду вуглецю (CO) з порогом спрацювання 10–20% НКМВ.
- Модернізація багаторівневої автоматики безпеки: реле контролю полум'я, термостати та датчики тиску.

Вентиляція

- Перехід на комбінований режим вентиляції: забезпечення нормативного природного та примусового повітрообміну.
- Встановлення частотно-регульованих вентиляторів для гнучкої оптимізації повітряних потоків.
- Автоматичне збільшення кратності повітрообміну при спрацюванні датчиків загазованості або температури.

Організаційні заходи

- Систематичне навчання персоналу та практичне відпрацювання алгоритмів дій при виникненні аварійних ситуацій.
- Впровадження цифрового журналу для фіксації та аналізу ключових експлуатаційних параметрів роботи котельні.
- Забезпечення регулярного технічного аудиту та суворе дотримання системи планово-попереджувальних ремонтів.

Резервування

- Використання джерел безперебійного живлення (ДБЖ) для систем автоматики та безперервного газового контролю.
- Дублювання критичних вузлів обладнання, зокрема встановлення резервних циркуляційних насосів.
- Фізичне зонування котельного приміщення для локалізації можливих аварій та полегшення доступу до обладнання.

				401-ВТ 10291701.КРБ		
				Розробка пропозицій техніко-екологічної модернізації котельні гімназії у Великобагачанській громаді		
Зм.	Лист	Документ	Період	Дата	Старий	Новий
		Розробив	Віршено	Я.С.	КРБ	8
		Перевірив	Бредун	В.І.		12
				Заходи щодо запобігання надзвичайним ситуаціям		НУ ім. Ю.Кондратека Кафедра прикладної екології та хімії
				Зав. кафедр		Уляш О.В.

ТЕХНОЛОГІЧНІ ЗАХОДИ: МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ

Первинні заходи (оптимізація процесу горіння)

Низькоемісійні пальники

Ступеневе подавання повітря
→ зниження NO_x

Оптимальний коефіцієнт α

$\alpha = 1,1-1,2$
→ баланс ефективності

Підігрів повітря

Рекуператор
→ знижує CO

Вторинні заходи (апаратурне очищення)

✓ Циклон ЦН-15

$\eta \approx 80\%$
ОБРАНО для об'єкта

Рукавний фільтр

$\eta = 98-99\%$
Надлишково для 100 кВт

Скрубер мокрого очищення

$\eta = 85-95\%$
Потребує водопідготовки

					401-ВТ 10291701.КРБ		
					Розробка пропозицій техніко-екологічної модернізації котельні гімназії у Великобагачанській громаді		
Зм	Лист	Документ	Период	Дата	Статус	Лист	Листів
Розробив	Ярошенко Я.С.				КРБ	9	12
Перевірив	Бреден В.І.						
					Слайд № 9		
					Технологічні заходи: методи очищення		
					НЧ ін. В.Кондратюк Кафедра прикладної екології та хімії		
					Зай курс ВЛЯШ О.Е.		

РЕКОМЕНДАЦІЇ: КОНДЕНСАЦІЙНІ ЕКОНОМАЙЗЕРИ

Критерій	Біомаса / Пелети	✓ Конденсаційний економайзер
Зміна котла	Повна заміна	Не потрібна
Пилові викиди	У 10–20 разів вище	Зменшується
ККД котельні	85–90%	до 95–98%
Економія газу	Потреба в іншому паливі	10–15%
Складність	Висока	Низька
Для 100 кВт	✗	✓

ККД у конденсац. режимі: **95–98%**

Економія природного газу: **10–15%**

Зниження CO₂ / NO_x / CO: **пропорційно**

Т° димових газів після: **40–60°C**

				401-ВТ 10291701.КРБ		
				Розробка пропозицій техніко-екологічної модернізації котельні гімназії у Великобагачанській громаді		
Зм.	Лист	Документ	Период	Дата	Старія	Листів
Розробив	Листопад	Розробка	2023	10.10.23	КРБ	11
Перевірив	Бредун	В.І.				12
				Слайд № 11		
				Рекомендації: конденсаційні економайзери		НЧ ін. Ю.Кондратюк Кафедра прикладної екології та хімії
				Заб. корд. Ульяш О.Е.		

