

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

**ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ
СИСТЕМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
БУДІВЕЛЬ І СПОРУД**

Методичні вказівки
до виконання розрахунково-графічної роботи для студентів
спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
за освітньо-професійною програмою
«Теплогазопостачання і вентиляція»

Київ 2023

УДК 620.92: 662.611

E45

Укладачі: К.М. Предун, доктор економічних наук, професор,
О.А. Дудніков, асистент,
О.Б. Почка, асистент.

Рецензент Г.В. Жук, доктор технічних наук, професор

Відповідальний за випуск К.М. Предун, доктор економічних наук,
професор

Затверджено на засіданні кафедри теплогазопостачання і
вентиляції, протокол № 6 від 7 листопада 2023 року.

В авторській редакції.

Еколого-економічні розрахунки систем енергозабезпечення
будівель і споруд: методичні вказівки до виконання розрахунково-
графічної роботи / уклад.: К.М. Предун, О.А. Дудніков, О.Б. Почка. –
Київ: КНУБА, 2023. – 60 с.

Містять загальні положення, методики та приклади розрахунків
витрат первинної енергії та органічного палива, викидів
забруднювальних речовин і парникових газів в атмосферне повітря
при згорянні палив, економіко-технологічної та екологічної оцінок
біосферосумісного розвитку систем енергозабезпечення будівель і
споруд, а також вихідні дані до виконання розрахунково-графічних
робіт, список літератури та додатки.

Призначено для студентів спеціальності 192 «Будівництво та
цивільна інженерія» за освітньо-професійною програмою «Теплогазо-
постачання і вентиляція».

© КНУБА, 2023

ЗМІСТ

Вступ	4
Розділ 1. Вихідні дані до виконання розрахунково-графічної роботи	6
Розділ 2. Витрати первинної енергії та палива	9
2.1. Енергопотреба будівлі	9
2.2. Витрати первинної енергії	10
2.3. Витрати первинного палива	12
Розділ 3. Викиди забруднювальних речовин і парникових газів в атмосферне повітря	13
3.1. Показники емісії забруднювальних речовин і парникових газів	14
3.2. Спалювання газоподібних палив	20
3.3. Викиди забруднювальних речовин і парникових газів	22
Розділ 4. Економіко-технологічна та екологічна оцінки систем енергозабезпечення	23
4.1. Вартість органічного палива	24
4.2. Податкові зобов'язання за викиди забруднювальних речовин і парникових газів в атмосферне повітря	25
4.3. Питомі характеристики систем енергозабезпечення будівель і споруд	26
Розділ 5. Приклади розрахунків	29
5.1. Розрахунки витрат первинної енергії та палив	29
5.2. Розрахунки викидів забруднювальних речовин і парникових газів в атмосферне повітря	31
5.3. Економічні розрахунки	39
Список використаних та рекомендованих джерел	46
<i>Додаток А.</i> Фізико-хімічні властивості палив	49
<i>Додаток Б.</i> Характеристика систем енергопостачання	51
<i>Додаток В.</i> Властивості компонентів природного газу	53
<i>Додаток Г.</i> Економічні показники	54
<i>Додаток Д.</i> Параметри установок очищення димових газів	55
<i>Додаток Е.</i> Показники емісії парникових газів	58

ВСТУП

За рішеннями Паризької кліматичної угоди країни-підписанти повинні забезпечити недопущення підвищення глобальної середньої температури докілька більш, чим на 2 °С (по можливості – не більше 1,5 °С) [1] відносно показників до індустріальної епохи. Ймовірно, мова йде про історичний період до 1750-х років – до того, як в Англії розпочалась промислова революція. Людство стало спалювати величезну кількість викопного палива, що призвело до зміни клімату. Моделювання ситуації показало, що якщо органічні палива видобуватимуть з тією ж швидкістю протягом наступних 28 років, як це було протягом 1988-2017 років, то глобальні середні температури повітря зростуть на 4 °С до кінця століття. Друга мета Угоди полягає у зменшенні викидів парникових газів в атмосферу до нульового рівня впродовж другої половини XXI століття.

Енергоефективність – дієвий спосіб вирішення проблем за рахунок зменшення первинного споживання енергії та, відповідно, скорочення викидів забруднювальних речовин і парникових газів в атмосферне повітря. У європейських країнах впровадження заходів згідно з вимогами Директиви Європарламенту 2012/27EU «Про енергетичну ефективність» [2] (збільшення частки альтернативних джерел енергії, використання вторинних енергоресурсів, відміна від спалювання вугілля тощо) дає відчутний результат щодо пом'якшення наслідків зміни клімату.

Україна використовує для власних потреб різноманітні джерела енергії, такі як нафта, природний газ, вугілля, атомна й гідроенергія, енергія вітру і сонця тощо [3]. Наразі найбільш затребуваними в Україні є викопні ресурси: природний газ і вугілля, які сумарно становлять понад 60 % вітчизняного енергетичного балансу. Водночас в останні роки внаслідок змін цінової кон'юнктури, технологій та світових трендів, частка інших видів енергії у споживанні поступово зростає. До того ж сьогодні є підстави очікувати їх подальшого зростання з відповідним зменшенням частки викопного палива в енергетичному балансі країни.

Наприклад, схема теплопостачання повинна визначати найбільш економічно ефективний сценарій теплопостачання населеного пункту, що сприятиме зменшенню обсягів використання паливно-енергетичних ресурсів для виробництва, транспортування та постачання одиниці теплової енергії кінцевим споживачем з мінімальним впливом на довкілля [4-6].

Оцінка енергоефективності будівлі [7, 9] здійснюється за двома показниками :

- оцінка первинної енергії;
- оцінка викидів CO_2 .

У розрахунково-графічній роботі студент повинен:

1. Визначити витрати первинної енергії в залежності від функціонального призначення будівлі, прийнятої системи її енергопостачання та виду палива.

2. Знайти витрату первинного палива та його вартість.

3. Розрахувати кількість викидів забруднювальних речовин і парникових газів в атмосферне повітря в залежності від способу згоряння палива, наявності пилогазоочисного устаткування тощо.

4. Виконати економіко-технологічну та екологічну оцінки біосферосумісного розвитку систем енергозабезпечення будівель і споруд.

РОЗДІЛ 1.
ВИХІДНІ ДАНІ ДО ВИКОНАННЯ
РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ

Для виконання індивідуального завдання студент отримує тризначний шифр, згідно з цифрами якого вибирає вихідні дані до виконання розрахунково-графічної роботи (табл. 1.1-1.7).

Можливим (за узгодженням з керівником розрахунково-графічної роботи) є використання результатів попередньо виконаних курсових проектів і робіт з дисциплін «Опалення», «Гаряче водопостачання», «Вентиляція», «Кондиціонування повітря» тощо.

Також можна використати дані попередньо складеного енергетичного паспорта будівлі за результатами вивчення дисципліни «Енергетична паспортизація та сертифікація будівель».

Таблиця 1.1

Енергоспоживання будівлі, тис. кВт-год./рік

Послуга	Перша цифра шифру									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Багатопверховий житловий будинок										
Опалення	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190
Гаряче водопостачання	300	350	400	450	500	450	400	350	400	500
Громадська будівля										
Опалення	150	200	250	300	350	300	250	200	150	100
Вентиляція	100	50	–	250	200	150	–	200	50	100
Гаряче водопостачання	50	75	100	125	150	175	150	125	100	75
Охолодження	50	100	150	200	250	300	50	100	150	200
Освітлення	75	50	100	125	150	125	25	75	50	25

Таблиця 1.2

Вид палива

Вид палива	Друга цифра шифру									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Вугілля	+									+
Мазут енергетичний			+				+			
Газ природний		+			+			+		
Альтернативне				+		+			+	

Таблиця 1.3

Марка вугілля (родовище)

Марка вугілля	Третя цифра шифру									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Львівсько-волинське ГР	+				+					
Антрацитовий штиб АШ			+				+			
Донецьке газове ГР		+				+				
Пісне вугілля ГР				+					+	
Олександрійське буре Б1Р								+		+

Таблиця 1.4

Марка мазуту енергетичного

Марка мазуту	Третя цифра шифру									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Високосірчистий:										
М40			+				+			
М100		+				+				
М200	+				+					
Малосірчистий:										
М40				+					+	
М100								+		+

Таблиця 1.5

Родовище природного газу

Родовище природного газу	Третя цифра шифру									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Уренгойське			+				+			
Ямбурзьке		+				+				
Дашавське				+					+	
Шебелинське	+				+					
Гадяцьке								+		+

Таблиця 1.6

Вид альтернативного палива

Альтернативне паливо	Третя цифра шифру									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Деревина			+				+			
Солома		+				+				+
Лушпиння соняхів	+				+				+	
Торф				+				+		

Таблиця 1.7

Вид системи енергопостачання

Система енергопостачання	Перша цифра шифру									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Місцева		+			+			+		
Центральна	+		+	+		+	+		+	+

РОЗДІЛ 2. ВИТРАТИ ПЕРВИННОЇ ЕНЕРГІЇ ТА ПАЛИВА

2.1. Енергопотреба будівлі

Напрямок розрахунку йде від потреби до джерела (наприклад, від енергопотреб будівлі до первинної енергії або викидів CO_2). Електричні послуги (такі як освітлення, вентиляція, допоміжна енергія) та теплові послуги (опалення, охолодження, гаряче водопостачання) враховуються окремо в межах будівлі. Власне виробництво енергії будівлею на базі місцевих джерел відновлюваної енергії та доставленої енергії розглядається окремо. Метою розрахунку є визначення річного загального споживання енергії, первинної енергії або викидів CO_2 . Розрахована енергетична оцінка має базуватися на розрахунках використання енергії – потреб на опалення, вентиляцію, охолодження, гаряче водопостачання та освітлення залежно від типу будівлі.

При проведенні оцінки відповідності енергетичних характеристик будівлі за показником енергопотреб враховуються витрати на опалення, вентиляцію, охолодження, гаряче водопостачання та освітлення залежно від типу будівлі, як визначено у табл. 2.1.

Загальну річну енергопотребу будівлі обраховують за формулами:

1) для житлових будинків:

$$Q_{tot} = Q_{H,nd} + Q_{DHW,nd}, \quad (2.1)$$

2) для громадських будинків:

$$Q_{tot} = Q_{H,nd} + Q_{C,nd} + Q_{V,nd} + Q_{DHW,nd} + W, \quad (2.2)$$

де $Q_{H,nd}$, $Q_{C,nd}$, $Q_{V,nd}$, $Q_{DHW,nd}$, W – річна енергопотреба будівлі для опалення, охолодження, вентиляції, гарячого водопостачання та освітлення відповідно, кВт-год., що визначають згідно з вимогами ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [7].

Таблиця 2.1

Послуги, що включаються до енергоспоживання
будівлі для цілей оцінки енергетичних характеристик [8]

Енергоспоживання	Житлові будинки	Дошкільні та навчальні заклади, заклади охорони здоров'я	Громадські будівлі, призначені для обслуговування населення
1	2	3	4
Опалення:			
Опалення приміщень	Так	Так	Так
Попередній підігрів повітря	–	Так	Так
Додаткова енергія	Так	Так	Так
Вентиляція		Так	Так
Гаряче водопостачання	Так	Так	Так
Освітлення	–	Так	Так
Охолодження:			
Охолодження приміщень	–	–	Так
Попереднє охолодження повітря	–	–	Так
Додаткова енергія	–	–	Так

2.2. Витрати первинної енергії

Витрати первинної енергії визначають з урахуванням втрат при генерації, транспортуванні, розподілі, трансформації тощо. Значення коефіцієнтів корисної дії зазначених підсистем вказані у табл. Б.1-Б.3 додатку Б даних методичних вказівок в залежності від виду палива, характеристики джерела енергії та системи її транспортування/розподілу, виду енергоносія тощо.

Для системи водяного централізованого теплопостачання – як найбільш характерного виду систем теплопостачання населених пунктів України – значення приведенного коефіцієнту корисної дії на підставі даних табл. Б.1 додатку Б з достатньою точністю можна обрахувати таким чином:

$$\eta_{tot}^Q = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4, \quad (2.3)$$

де η_1 – коефіцієнт корисної дії системи генерації теплоти (джерела енергії); η_2 – те ж, системи транспортування тепловими мережами; η_3 – те ж, системи трансформації у тепловому пункті; η_4 – те ж, системи розподілу.

Для місцевих систем теплопостачання – як найбільш перспективних наразі – втрати енергії при транспортуванні міськими мережами відсутні. Відповідно, формула для визначення приведенного коефіцієнта корисної дії приймає вигляд:

$$\eta_{tot}^Q = \eta_1 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4. \quad (2.4)$$

Для систем електропостачання джерелом енергії може бути районна теплова електростанція (ТЕС) або теплоелектроцентральною (ТЕЦ) населеного пункту. В умовах даної задачі інші джерела електроенергії – атомні електростанції (АЕС), альтернативні джерела (вітрові (ВЕС) або сонячні (СЕС) електростанції) тощо не розглядають.

Для систем освітлення приведений коефіцієнт корисної дії для визначення витрат первинної енергії на підставі даних табл. Б.3 додатка Б знаходять за такою залежністю

$$\eta_{tot}^W = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4, \quad (2.5)$$

де η_1 – коефіцієнт корисної дії системи генерації електроенергії (ТЕЦ або ТЕС); η_2 – те ж, системи транспортування електричними мережами; η_3 – те ж, трансформаторної підстанції; η_4 – те ж, електрощитової та системи розподілу.

З урахуванням викладеного вище витрати первинної енергії для задоволення потреб інженерних систем будівлі становлять, кВт-год.:

1) теплової енергії:

$$E_{tot}^Q = (Q_{H,nd} + Q_{C,nd} + Q_{V,nd} + Q_{DHW,nd}) / \eta_{tot}^Q, \quad (2.6)$$

2) електричної енергії:

$$E_{tot}^W = W / \eta_{tot}^W. \quad (2.7)$$

Відповідно, сумарні витрати первинної енергії обраховують так

$$E_{tot}^\Sigma = E_{tot}^Q + E_{tot}^W, \text{ кВт-год.} \quad (2.8)$$

2.3. Витрати первинного палива

Теплоту згоряння твердих і рідких палив (в залежності від їх виду або вибору згідно із завданням) приймають на підставі даних, наведених у додатку А.

Для газоподібного палива в залежності від родовища (див. табл. А.4 додатку А) теплоту згоряння слід визначити в залежності від якісного і кількісного складу природного газу.

$$Q_p^H = 0,01 \cdot \Sigma(Q_p^H \cdot v)_i, \text{ МДж/м}^3, \quad (2.9)$$

де $(Q_p^H)_i$ – теплота згоряння i -го індивідуального газу у складі сухого газоподібного палива, МДж/м³; $(v)_i$ – об’ємний вміст i -го індивідуального газу, %.

Значення теплоти згоряння компонентів природного газу слід приймати за даними табл. В.1 (при стандартних умовах – 20 °С і тиску 101,325 кПа) додатку В. Якщо у вихідних умовах для проектування вказані температурні параметри згоряння/вимірювання, то необхідно керуватись даними табл. В.2 додатку В. Наприклад, для магістрального транспорту природного газу (при визначенні витрати первинного палива) температурні значення умов згоряння/вимірювання такі – 0/0 °С.

Таким чином, сумарна витрата первинного палива для задоволення потреб інженерних систем будівлі становить (для твердих і рідких палив – т, для газоподібних – тис. м³):

$$V_{tot}^{\Sigma} = 3,6 \cdot E_{tot}^{\Sigma} \cdot 10^{-3} / Q_p^H, \text{ т або тис. м}^3. \quad (2.10)$$

Використовуючи залежність (2.10) можна з достатньою точністю визначити необхідну витрату палива для задоволення потреб окремо у тепловій і електричній енергії.

РОЗДІЛ 3.

ВИКИДИ ЗАБРУДНЮВАЛЬНИХ РЕЧОВИН І ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ В АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ

Під час спалювання органічного палива в енергетичних установках у атмосферне повітря разом з димовими газами надходять:

1) забруднювальні речовини:

- речовини у вигляді суспендованих твердих частинок;
- оксиди сірки SO_x у перерахунку на діоксид сірки або сірчистий ангідрид SO_2 ;
- оксиди азоту NO_x у перерахунку на діоксид азоту NO_2 ;
- оксид вуглецю CO ;

2) парникові гази:

- діоксид вуглецю CO_2 ;
- метан CH_4 ;
- азоту (I) оксид або оксид діазоту N_2O .

Валові викиди забруднювальних речовин та парникових газів можливо визначити на основі:

- постійних вимірювань концентрацій забруднювальних речовин у димових газах енергетичних установок;
- розрахункових методів за даними про витрати та склад використаного палива і характеристик енергетичних та пилогазоочисних установок [11].

Розрахункові методи визначення викиду будь-якого інгредієнту в атмосферне повітря разом з димовими газами базуються на використанні показників емісії. Показник емісії характеризує масову кількість забруднювальної речовини/парникового газу, яка викидається енергетичною установкою в атмосферне повітря, віднесена до одиниці енергії, що виділяється під час згоряння палива. Він (показник емісії) залежить від багатьох факторів. Існують два показники емісії: узагальнений та специфічний.

Узагальнений показник емісії є середньою питомою величиною викиду для певної категорії енергетичних установок, певної технології спалювання для певного виду палива з урахуванням заходів

щодо зниження викиду забруднювальної речовини/парникового газу. Він не враховує особливостей фізико-хімічного складу палива.

Специфічний показник емісії є питомою величиною викиду, яка визначається для конкретної енергетичної установки з урахуванням індивідуальних характеристик палива, конкретних характеристик процесу згоряння та організації заходів щодо зниження викиду в атмосферне повітря.

3.1. Показники емісії забруднювальних речовин і парникових газів

При використанні твердих і рідких палив слід розраховувати викиди оксидів азоту (NO_x і N_2O) і вуглецю (CO і CO_2), сірчистого ангідриду SO_2 , твердих частинок, а також метану CH_4 . При спалюванні газоподібних палив викиди в атмосферне повітря твердих частинок і сірчистого ангідриду SO_2 відсутні.

3.1.1. Оксиди азоту NO_x

Під час спалювання органічного палива утворюються оксиди азоту NO_x (оксид азоту NO та діоксид азоту NO_2), викиди яких визначаються в перерахунку на NO_2 . Показник емісії оксидів азоту k_{NO_x} , г/ГДж з урахуванням заходів зі скорочення викиду розраховується як:

$$k_{NO_x} = (k_{NO_x})_o \cdot \left(\frac{Q_\phi}{Q_n}\right)^z \cdot (1 - \eta_I) (1 - \eta_{II}\beta), \quad (3.1)$$

де $(k_{NO_x})_o$ – показник емісії оксидів азоту в залежності від технологій спалювання без урахування заходів зі скорочення викиду, приймають згідно табл. Д.4 (додаток Д) [11]; Q_ϕ – фактична теплова потужність енергетичної установки, МВт; Q_n – номінальна теплова потужність енергетичної установки, МВт; z – емпіричний коефіцієнт згідно табл. Д.5 (додаток Д) [11]; η_I – ефективність первинних (режимно-технологічних) заходів скорочення викиду оксидів азоту згідно табл. Д.6 (додаток Д) [11]; η_{II} – ефективність вторинних заходів (наявність азотоочисної установки), приймають згідно табл. Д.8 (додаток Д) [11]; β – коефіцієнт роботи азотоочисної установки згідно табл. Д.8 (додаток Д) [11].

Для конкретної енергетичної установки специфічний показник емісії оксидів азоту може бути визначений на основі результатів еколого-теплотехнічних випробувань енергетичної установки, документально підтверджених відповідними актами. Формулу перерахунку значення виміряної концентрації забруднювальної речовини в показник емісії приведено в додатку А [11].

Первинні (режимно-технологічні) заходи спрямовано на зменшення утворення оксидів азоту в топці або камері згоряння енергетичної установки. До цих заходів відносяться: використання малотоксичних палив, ступенева подача повітря та палива, рециркуляція димових газів тощо. Загалом значення ефективності застосування первинних заходів η : як окремих, так і їх комбінацій, визначаються за результатами еколого-теплотехнічних випробувань енергетичної установки після їх впровадження і затверджуються відповідними актами. Орієнтовні значення ефективності первинних заходів зі зменшення викидів оксидів азоту наведено в табл. Д.7 (додаток Д) [11].

За неможливості досягти за допомогою первинних заходів допустимої концентрації оксидів азоту в димових газах для їх очищення від NO_x використовують азотоочисну установку. Значення ефективності η_{II} та коефіцієнта роботи азотоочисної установки (відношення часу роботи азотоочисної установки до часу роботи енергетичної установки) визначаються під час випробувань, а за їх відсутності – згідно з даними табл. Д.8 (додаток Д) [11].

3.1.2. Діоксид сірки SO_2

Показник емісії k_{SO_2} , г/ГДж оксидів сірки SO_2 та SO_3 , у перерахунку на діоксид сірки SO_2 , які надходять в атмосферу разом з димовими газами, є специфічним і розраховується за формулою

$$k_{SO_2} = \frac{10^6 \cdot 2 \cdot S^r}{Q_i^r \cdot 100} (1 - \eta_I) (1 - \eta_{II} \beta), \quad (3.2)$$

де Q_i^r – нижча робоча теплота згоряння палива, МДж/кг; S^r – вміст сірки в паливі на робочу масу за проміжок часу P , %; η_I – ефективність зв'язування сірки золою або сорбентом у енергетичній

установці згідно табл. Д.2 (додаток Д) [11]; η_{II} – ефективність очистки димових газів від оксидів сірки згідно табл. Д.3 (додаток Д) [11]; β – коефіцієнт роботи сіркоочисної установки згідно табл. Д.3 (додаток Д) [11].

Усереднені значення вмісту сірки для різних видів і марок палива наведено у додатку Г [11]. Ці значення приймають у випадку відсутності достовірних даних технічного аналізу палива.

Ефективність зв'язування оксидів сірки золою або сорбентом у енергетичній установці η_I залежить від технології спалювання та хімічного складу палива, яке спалюється, і типу сорбенту. Під час спалювання твердого палива, до мінеральної складової якого входять сполуки лужних та лужноземельних металів, відбувається часткове зв'язування сірки з утворенням сульфатів або сульфідів. Під час спалювання твердого палива за технологіями киплячого шару подача сорбенту разом з паливом забезпечує ефективне зв'язування сірки в топці енергетичної установки. За відсутності даних для енергетичної установки про ефективність зв'язування сірки в топковому просторі значення коефіцієнта η_I для різних технологій спалювання приймаються згідно з табл. Д.2 (додаток Д) [11].

Димові гази можуть бути очищені від оксидів сірки в сіркоочисних установках шляхом застосування технологій десульфуризації димових газів з різною ефективністю очищення η_{II} . Коефіцієнт роботи сіркоочисної установки β визначається як відношення часу роботи сіркоочисної установки до часу роботи енергетичної. За відсутності таких даних значення ефективності сіркоочищення димових газів та коефіцієнта роботи сіркоочисної установки за різними технологіями десульфуризації приймаються згідно з табл. Д.3 (додаток Д) [11].

До установок десульфуризації димових газів відносяться і деякі види золоуловлювальних установок. Для електростатичних фільтрів та циклонів ефективність уловлення оксидів сірки η_{II} є незначною і у розрахунках можна приймає рівною нулю. Для мокрих золоуловлювальних установок (мокрих скрубєрів типу МС та МВ) величина η_{II} залежить від загальної лужності води на потреби

зрошення та від вмісту сірки у паливі S^r . Приведений вміст сірки визначається як відношення масового вмісту сірки на робочу масу палива до нижчої робочої теплоти згоряння палива:

$$S^* = \frac{S^r}{q_i^r} \quad (3.3)$$

Дані про ефективність уловлення оксидів сірки в мокрих скруберах наведено в табл. Д.4 (додаток Д) [11].

3.1.3. Речовини у вигляді суспендованих твердих частинок

Показник емісії речовини у вигляді суспендованих твердих частинок (далі – твердих частинок) $k_{ТВ}$, г/ГДж розраховується за формулою:

$$k_{ТВ} = \frac{10^6}{Q_i^r} a_{вин} \frac{A^r}{100 - \Gamma_{вин}} (1 - \eta_{ЗУ}) + k_{ТВS}, \quad (3.4)$$

де Q_i^r – нижча робоча теплота згоряння палива, МДж/кг; A^r – масовий вміст золи в паливі на робочу масу, %; $a_{вин}$ – частка золи, яка виходить з котла у вигляді леткої золи; $\eta_{ЗУ}$ – ефективність очищення димових газів від твердих частинок; $\Gamma_{вин}$ – масовий вміст горючих речовин у викидах твердих частинок, %; $k_{ТВS}$ – показник емісії твердих продуктів взаємодії сорбенту та оксидів сірки і твердих частинок сорбенту, г/ГДж.

Вміст золи A^r в паливі та горючих у викиді твердих частинок $\Gamma_{вин}$ визначаються при проведенні технічного аналізу палива і леткої золи, яка виходить з енергетичної установки, відповідно. Зола палива виходить з енергетичної установки у вигляді леткої золи (виносу) та/або донної золи (шлаку). Частка золи, яка виноситься з енергетичної установки у вигляді леткої золи, $a_{вин}$ залежить від технології спалювання палива і визначається за даними останніх випробувань енергетичної установки, а за їх відсутності – за паспортними даними. За відсутності таких даних значення $a_{вин}$ приймаються згідно з табл. Д1 (додаток Д) [11].

Значення ефективності очищення димових газів від твердих частинок $\eta_{ЗУ}$ визначається за результатами випробувань золоуловлювальної установки або за її паспортними даними. Ефективність

золоуловлювальної установки визначається як різниця між одиницею та відношенням масових концентрацій твердих частинок після і до золоуловлювальної установки.

3.1.4. Оксид вуглецю CO

Утворення оксиду вуглецю CO є результатом неповного згоряння вуглецю органічного палива. Зі зменшенням потужності енергетичної установки концентрація CO в димових газах зростає. Основним методом визначення викидів оксиду вуглецю є вимірювання його концентрації.

Для конкретної енергетичної установки специфічний показник емісії оксиду вуглецю може бути визначено на основі результатів випробувань енергетичної установки, документально підтверджених відповідними актами. Формулу перерахунку значення вимірюваної концентрації забруднювальної речовини в показник емісії приведено в додатку А [11].

Значення узагальненого показника емісії оксиду вуглецю залежно від виду палива, потужності енергетичної установки та технології спалювання визначаються з табл. Е.1 (додаток Е) [11].

3.1.5. Діоксид вуглецю CO_2

Діоксид вуглецю (вуглекислий газ CO_2) відноситься до парникових газів і є основним газоподібним продуктом окислення вуглецю органічного палива. Обсяг викиду CO_2 безпосередньо пов'язаний із вмістом вуглецю в паливі та ступенем окислення вуглецю палива в енергетичній установці.

Показник емісії діоксиду вуглецю k_{CO_2} , г/ГДж під час спалювання органічного палива визначається за формулою

$$k_{CO_2} = \frac{44}{12} \frac{C^r}{100} \frac{10^6}{Q_i^r} \varepsilon_C = 3,67 \cdot k_C \cdot \varepsilon_C, \quad (3.5)$$

де C^r – масовий вміст вуглецю в паливі на робочу масу, %; Q_i^r – нижча робоча теплота згоряння палива, МДж/кг; ε_C – ступінь окислення вуглецю палива (додаток А) [11]; k_C – показник емісії вуглецю палива, г/ГДж.

Масовий вміст вуглецю в паливі визначається на основі елементного аналізу палива, що спалюється. Для газоподібного палива його може бути визначено, якщо відомий об'ємний вміст компонентів газоподібного палива (додаток Б) [11]. За відсутності даних про паливо, яке спалюється, необхідно користуватись даними додатку Г [11].

Специфічний показник емісії вуглецю k_c , г/ГДж – це відношення вмісту вуглецю палива до його теплоти згоряння:

$$k_c = \frac{c^r \cdot 10^6}{100 \cdot Q_i^r}. \quad (3.6)$$

За відсутності даних про вміст вуглецю в паливі та його теплоту згоряння необхідно користуватись узагальненим показником емісії вуглецю, наведеним у табл. Е.2 (додаток Е) [11].

Ефективність процесу горіння визначає ступінь окислення вуглецю палива ε_c . При повному згорянні палива ступінь окислення дорівнює одиниці, але за наявності недогорання палива його значення зменшується. Ступінь окислення вуглецю палива в енергетичній установці розраховується за формулою:

$$\varepsilon_c = 1 - \frac{A^r}{C^r} \left(a_{вин} \cdot \frac{\Gamma_{вин}}{100 - \Gamma_{вин}} + (1 - a_{вин}) \cdot \frac{\Gamma_{шл}}{100 - \Gamma_{шл}} \right), \quad (3.7)$$

де A^r – масовий вміст золи в паливі на робочу масу, %; C^r – масовий вміст вуглецю в паливі на робочу масу, %; $a_{вин}$ – частка золи, яка видаляється у вигляді легкої золи; $\Gamma_{вин}$ – масовий вміст горючих речовин у виносі твердих частинок, %; $\Gamma_{шл}$ – масовий вміст горючих речовин у шлаку, %.

Вміст золи A^r в паливі та горючих речовин у шлаку $\Gamma_{шл}$ і викидах твердих частинок $\Gamma_{вин}$ визначається технічним аналізом палива, а також шлаку та твердих частинок, які виходять з енергетичної установки. Частка золи $a_{вин}$, яка виноситься з енергетичної установки у вигляді легкої золи, залежить від технології спалювання палива. Вона визначається для енергетичної установки за паспортними даними та при проведенні її еколого-теплотехнічних випробувань. За відсутності такої інформації значення $a_{вин}$ приймають за даними табл. Д.1 (додаток Д) [11].

Під час спалювання органічного палива в енергетичній установці може утворюватись монооксид вуглецю, але в атмосфері він неодмінно перетвориться в діоксид вуглецю. Тому під час розрахунку показника емісії CO_2 вважають, що весь вуглець палива, яке згоріло, перетворюється у вуглекислий газ. Для природного газу рекомендоване значення ε_c становить 0,995, для мазуту – 0,99 [11].

3.1.6. Оксид діазоту N_2O

Оксид діазоту (або оксид азоту (II)) N_2O відноситься до парникових газів. Значення узагальненого показника емісії N_2O залежно від виду палива, потужності енергетичної установки та технології спалювання наведено в табл. Е.3 (додаток Е) [11].

3.1.7. Метан CH_4

Метан CH_4 також відноситься до парникових газів. Утворення метану під час спалювання органічного палива в енергетичних установках дуже незначне. Воно пов'язане з неповним згорянням органічного палива і зменшується з підвищенням температури згорання та масштабу енергетичної установки. Значення узагальненого показника емісії метану залежно від виду палива наведено в табл. Е.4 (додаток Е) [11].

3.2. Спалювання газоподібних палив

3.2.1. Перерахунок характеристик газоподібного палива

Для газоподібного палива, як правило, відомі його об'ємні характеристики:

- якісний і кількісний склад компонентів;
- теплота згорання кожного із компонентів;
- об'ємна витрата;
- об'єм використаного палива за певний проміжок часу.

У методиці та додатку А [11] для визначення величин викидів та питомого об'єму використовуються масові характеристики палива – масовий елементний склад, масова теплота згорання, маса

використаного палива. Тому для газоподібного палива об'ємні характеристики необхідно перерахувати в масові.

Питома маса кожного індивідуального газу в сухому стані газоподібного палива визначається за формулами:

$$m_{CH_4} = 0,716 \cdot 0,01(C_{H_4})_v; \quad (3.8)$$

$$m_{C_2H_6} = 1,342 \cdot 0,01(C_2H_6)_v; \quad (3.9)$$

$$m_{C_3H_8} = 1,967 \cdot 0,01(C_3H_8)_v; \quad (3.10)$$

$$m_{C_4H_{10}} = 2,593 \cdot 0,01(C_4H_{10})_v; \quad (3.11)$$

$$m_{C_5H_{12}} = 3,219 \cdot 0,01(C_5H_{12})_v; \quad (3.12)$$

$$m_{N_2} = 1,250 \cdot 0,01(N_2)_v; \quad (3.13)$$

$$m_{CO_2} = 1,964 \cdot 0,01(CO_2)_v; \quad (3.14)$$

$$m_{H_2S} = 1,521 \cdot 0,01(H_2S)_v, \quad (3.15)$$

де m_i – питома маса i -го індивідуального газу в 1 м^3 сухого газоподібного палива, $\text{кг}/\text{м}^3$; $(i)_v$ – об'ємний вміст i -го індивідуального газу, %.

Масовий елементний склад сухого палива визначають за формулами, %:

$$C^{daf} = \frac{100}{\rho_H} \left(\sum \frac{12p}{12p+q} m_{C_pH_q} + 0,429 \cdot m_{CO} + 0,273 \cdot m_{CO_2} \right), \quad (3.16)$$

$$H^{daf} = \frac{100}{\rho_H} \left(\sum \frac{q}{12p+q} m_{C_pH_q} + 0,059 m_{H_2S} \right); \quad (3.17)$$

$$N^{daf} = \frac{100}{\rho_H} m_{N_2}; \quad (3.18)$$

$$O^{daf} = \frac{100}{\rho_H} (0,571 m_{CO} + 0,727 m_{CO_2}); \quad (3.19)$$

$$S^{daf} = \frac{100}{\rho_H} 0,941 m_{H_2S}, \quad (3.20)$$

де C^{daf} – масовий вміст вуглецю в паливі на горючу масу, %; H^{daf} – масовий вміст водню в паливі на горючу масу, %; N^{daf} – масовий вміст азот в паливі на горючу масу, %; O^{daf} – масовий вміст кисню в паливі на горючу масу, %; S^{daf} – масовий вміст сірки в паливі на горючу масу, %; ρ_H – густина сухого газоподібного палива, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Густина сухого газоподібного палива ρ_H , $\text{кг}/\text{м}^3$, визначається як сума питомих мас індивідуальних газів, що входять до складу палива:

$$\rho_H = \sum m_i. \quad (3.21)$$

Отже, отримано значення, % масового елементного складу газоподібного палива:

$$\begin{aligned} \text{Вуглець} - C^r &= C^{daf} \\ \text{Водень} - H^r &= H^{daf} \\ \text{Кисень} - O^r &= O^{daf} \\ \text{Азот} - N^r &= N^{daf} \\ \text{Сірка} - S^r &= S^{daf} \end{aligned}$$

Масова нижча теплота згорання Q_i^r , МДж/кг визначається за формулою:

$$Q_i^r = \frac{Q_p^H}{\rho_H}. \quad (3.22)$$

Масова витрата газоподібного палива B_2 , визначається за формулою, т/рік:

$$B_2 = B_1 \cdot \rho_H. \quad (3.23)$$

3.3. Викиди забруднювальних речовин і парникових газів

Валовий викид j -ї забруднювальної речовини/парникового газу E_j , т, що надходить у атмосферу разом із димовими газами за проміжок часу P , визначається як сума валових викидів цієї речовини під час спалювання різних видів палива, у т.ч. і під час їх одночасного спільного спалювання:

$$E_j = \sum_i E_{ji} = 10^{-6} \cdot \sum k_{ji} \cdot B_i \cdot (Q_i^r)_i, \quad (3.24)$$

де E_{ji} – валовий викид j -ї речовини/газу під час спалювання i -го палива за проміжок часу P , т; k_{ji} – показник емісії j -ї забруднювальної речовини/ парникового газу для i -го палива, г/ГДж; B_i – витрата i -го палива за проміжок часу P , т; $(Q_i^r)_i$ – нижча робоча теплота згорання i -го палива, МДж/кг.

РОЗДІЛ 4.

ЕКОНОМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКИ СИСТЕМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Теплову енергію для централізованих систем населених пунктів генерують теплоелектроцентралі (ТЕЦ), опалювальні та промислово-опалювальні котельні. У місцевих системах теплопостачання її забезпечують, як правило, квартирні та будинкові генератори, а останнім часом і джерела альтернативних енергоресурсів. На даний час у країні працюють близько 250 ТЕЦ, з яких більше 200 – дрібні відомчі промислові установки. Основним паливом для ТЕЦ є природний газ – до 80 %. Також у тепловому господарстві держави знаходиться понад 100 тис. котелень різного призначення. Переважна більшість із них – це дрібні промислові чи опалювальні автономні котельні, в якості палива використовують природний газ – не менше 50 % і вугілля – до 40 % [12]. Питомі витрати палива при генерації теплоти в середньому для котелень становлять 165 кг ум.п./Гкал.

Частка потужностей у тепловій генерації, що відповідає екологічним вимогам ЄС (щодо викидів в атмосферне повітря забруднювальних речовин і парникових газів), не перевищує декількох відсотків [3]. Аналогічна картина і з часткою альтернативних видів палива у місцевих паливно-енергетичних балансах. Проте, з точки зору екологічних наслідків, домінування природного газу в якості основного палива для джерел теплопостачання є найбільш сприятливим для довкілля.

При реалізації поставлених завдань Законами України, іншими нормативно-правовими актами [3-6, 12-16] до 2035 р. планується досягти європейського рівня щодо екобезпеки виробництва теплоти (поточний рівень викидів забруднювальних речовин в Україні, наприклад, при використанні вугілля є більшим за нормативи ЄС у середньому в 7-80 разів в залежності виду палива). Водночас частка місцевих альтернативних палив сягне 20 %.

4.1. Вартість органічного палива

4.1.1. Природний газ

На ринку природного газу України Кабінет міністрів продовжив дію ПСО (покладання спеціальних обов'язків), що дозволяє зберегти без змін тарифи на теплову енергію.

Для виробників тепла для населення ТОВ «Газопостачальна компанія (ГПК) «Нафтогаз України» (на яке належить виконання вимог ПСО) реалізує природний газ по 7420 грн./1000 м³, а для виробників тепла для бюджетних організацій – по 16390 грн./1000 м³.

Для 12,4 млн. домогосподарств, які використовують блакитне паливо для побутових потреб і є клієнтами ГПК «Нафтогаз України», остання продає газ за гарантованою ціною 7,96 грн./м³.

4.1.2. Вугілля

У зв'язку з тимчасовою окупацією Донбасу – основного кам'яновугільного басейну України – продовжуються роботи з технічного переоснащення енергоблоків теплових електростанцій на спалювання газової марки вугілля для заміщення дефіцитного антрацитного.

Вартість вугілля встановлюють залежно від його марки (енергетичної та екологічної цінностей), обсягу реалізації та умов продажу за котируваннями ТОВ «Українська енергетична біржа» або за прямими договорами між постачальниками і енергогенеруючими компаніями.

Вказані у табл. Г.2 *додатку Г* ціни не враховують вартість транспортування палива та утилізації твердих продуктів його згорання.

4.1.3. Мазут

Наразі в Україні у зв'язку зі зменшенням власного нафто-видобутку [3] мазут використовують виключно як резервне паливо і у невеликих кількостях для потужних енергогенеруючих об'єктів. Вартість наведена у табл. Г.2 *додатку Г*.

У даній роботі цей вид органічного палива розглядають виключно з навчальною метою.

4.1.4. Альтернативні палива

Альтернативні палива – це, зазвичай, регіональні палива. Їх виробництво в Україні наразі орієнтоване у першу чергу на експорт. Відповідно, і ціноутворення – також.

Вартість палив вказана у табл. Г.2. *додатку Г*.

4.1.5. Вартість первинного палива

У розділі 2 даних методичних вказівок наведено методику визначення витрати первинного палива для задоволення потреб в енергії систем інженерного забезпечення будівель і споруд. На підставі орієнтовних значень цін палив (табл. Г.2 *додатку Г*) визначають його вартість:

$$C_i = c_i \cdot B_{tot_i}^{\Sigma}, \text{ грн./рік,} \quad (4.1)$$

де c_i – ціна i -ого палива, грн./т (тверді палива) або грн./1000 м³ (природний газ); $B_{tot_i}^{\Sigma}$ – витрата первинного палива згідно формули (2.10), т/рік (тверді палива) або 1000 м³ (природний газ).

4.2. Податкові зобов'язання за викиди забруднювальних речовині парникових газів в атмосферне повітря

Податкові зобов'язання за забруднення довкілля розраховують на підставі ставок податку, які вказані у ст. 243 Податкового кодексу України [17]. Для інгредієнтів, які входять до складу продуктів згоряння органічних палив, ставки податку вказані у табл. Г.1 *додатку Г*.

Податкові зобов'язання за викиди в атмосферне повітря i -ого інгредієнта C_i , грн./рік визначають так:

$$C_i = c_i \cdot E_i, \text{ грн./рік,} \quad (4.2)$$

де c_i – ставка податку за викид в атмосферне повітря i -ої забруднювальної речовини/парникового газу, грн./т; E_i – валовий викид i -ого інгредієнта, т/рік (визначений у розділі 3 даних методичних вказівок, формула (3.24)).

Якщо до складу продуктів згоряння палива входить декілька інгредієнтів (наприклад, вугілля, мазут та альтернативні тверді палива – 7, природний газ – 5), то збитки довкіллю від його

використання оцінюють сумуванням податкових зобов'язань кожним із них:

$$C^{\Sigma} = \sum_{j=1}^n C_j, \text{ грн./рік}, \quad (4.3)$$

де n – кількість інгредієнтів, які входять до продуктів згоряння палив.

4.3. Питомі характеристики систем енергозабезпечення будівель і споруд

Розрахунок енергетичної ефективності будівель виконують на рівнях:

- 1) енергопотреби будівлі;
- 2) енергоспоживання будівлі;
- 3) доставленої енергії;
- 4) первинної енергії (викидів CO_2).

Для оптимізації споживання енергії інженерними системами будівлі, які дають змогу протягом очікуваного її життєвого циклу забезпечувати задоволення побутових потреб людини та створення оптимальних мікрокліматичних умов для її перебування та/або проживання у приміщеннях, державними будівельними нормами [8, 10] встановлені мінімальні вимоги до енергетичної ефективності інженерних систем, конструктивних елементів будівель тощо.

Вимоги щодо забезпечення екологічності функціонування систем енергозабезпечення будівлі в умовах сталого розвитку наразі відсутні.

У даній роботі за результатами розрахунків витрат первинного палива та його вартості, викидів забруднювальних речовин і парникових газів в атмосферне повітря та податкових зобов'язань за забруднення довкілля слід обрахувати питомі значення енергетичних, економічних та екологічних показників.

4.3.1. Розрахункова питома витрата первинної енергії та палива

Витрати первинної енергії E_{tot}^{Σ} , кВт-год. та палива B_{tot}^{Σ} , т (тис. м³) для задоволення потреб в енергії будівлі в залежності від прийнятої системи енергопостачання визначені за формулами, відповідно, (2.8) і (2.10) даних методичних вказівок.

Для порівняння різних видів палива зазвичай використовують стандартизовану Міжнародним енергетичним агентством одиницю вимірювання – тонну нафтового еквівалента. 1 тне (toe) – еквівалентна кількості енергії, що виділяється під час спалювання однієї тонни сирої нафти: близько 41,868 ГДж або 11,63 МВт-год. енергії.

Питомі витрати для 1 м² кондиціонованої площі житлового будинку чи 1 м³ кондиціонованого об'єму громадської будівлі знаходять так:

1) річні питомі витрати первинної енергії:

$$EP = E_{tot}^{\Sigma}/A, \text{ кВт-год./м}^2 \cdot \text{рік}, \quad (4.4)$$

де A – кондиціонована площа житлового будинку, м²;
або

$$EP = E_{tot}^{\Sigma}/V, \text{ кВт-год./м}^3 \cdot \text{рік}, \quad (4.5)$$

де V – кондиціонований об'єм громадської будівлі, м³;

2) річні питомі витрати палива (в перерахунку на т нафтового еквівалента (тне)):

$$b_{\text{тне}} = \frac{E_{tot}^{\Sigma}}{Q_{\text{н.е.}} \cdot A}, \text{ т н.е./м}^2 \cdot \text{рік}; \quad (4.6)$$

де $Q_{\text{н.е.}}$ – еквівалентна кількість енергії, що виділяється під час спалювання однієї тонни сирої нафти: близько 11,63 МВт-год./т енергії
або

$$b_{\text{тне}} = \frac{E_{tot}^{\Sigma}}{Q_{\text{н.е.}} \cdot V}, \text{ т н.е./м}^3 \cdot \text{рік}. \quad (4.7)$$

4.3.2. Розрахункові питомі викиди забруднювальних речовин і парникових газів в атмосферне повітря

Для порівняння ефективності інженерних систем з генерування, транспортування, розподілу та використання енергії визначають питомі показники щодо забруднення довкілля викидами продуктів згоряння палива як окремо по кожному з інгредієнтів, видам забруднень, так і сумарними величинами.

Валовий викид в атмосферне повітря кожної забруднювальної речовини/парникового газу E_j , що надходить у атмосферу разом із димовими газами, визначають за формулою (3.24).

Питомі викиди для 1 м² кондиціонованої площі житлового будинку або 1 м³ кондиціонованого об'єму громадської будівлі знаходять так:

$$e_i = E_i \cdot 10^6 / A, \text{ г/м}^2 \cdot \text{рік} \quad (4.8)$$

або

$$e_i = E_i \cdot 10^6 / V, \text{ г/м}^3 \cdot \text{рік}, \quad (4.9)$$

де E_i – викиди i -ої забруднювальної речовини/парникового газу в атмосферне повітря, т/рік.

4.3.3. Розрахункові питомі податкові зобов'язання за забруднення довкілля

Розрахункові питомі збитки за викиди забруднювальних речовин/ парникових газів обраховують для кожного інгредієнту окремо на підставі даних про податкові зобов'язання за забруднення довкілля, які обраховані за формулою (4.2).

Розрахункові питомі податкові зобов'язання за забруднення довкілля викидами продуктів згоряння палив визначають за формулами:

1) для житлових будинків:

$$c_{Ai} = C_i \cdot 100 / A, \text{ коп./м}^2 \cdot \text{рік}; \quad (4.10)$$

2) для громадських будинків:

$$c_{Vi} = C_i \cdot 100 / V, \text{ коп./м}^3 \cdot \text{рік}; \quad (4.11)$$

де C_i – податкові зобов'язання за викиди в атмосферне повітря i -ого інгредієнта, грн./рік.

Результати усіх виконаних розрахунків зручно подавати у табличній формі (див. розд. 5 даних методичних вказівок).

РОЗДІЛ 5. ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКІВ

5.1. Розрахунки витрат первинної енергії та палив

5.1.1. Вихідні дані

За результатами розрахунків або у відповідності із вихідними даними до проектування річні потреби багатоповерхового житлового будинку становлять для:

- 1) опалення: $Q_{H,nd} = 150$ тис. кВт-год./рік;
- 2) гарячого водопостачання: $Q_{DHW,nd} = 250$ тис. кВт-год./рік.

Відповідно, сумарні витрати складають:

$$Q_{tot} = 400 \text{ тис. кВт-год./рік.}$$

Джерелом теплоти є районна опалювальна котельня (РОК). В якості палива використовують вугілля Львівсько-Волинського басейну марки ГР. Елементний склад палива наведено у табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Елементний склад (масовий вміст на горючу масу)
вугілля Львівсько-Волинського басейну

	Інгредієнт						Q_p^{daf} , МДж/кг
	вуглець C^{daf}	водень H^{daf}	сірка S^{daf}	кисень O^{daf}	азот N^{daf}	леткі V^{daf}	
1	2	3	4	5	6	7	8
Величина, %	79,5	5,2	3,7	10,3	1,3	39,0	31,69

Система теплопостачання – централізована. Транспортування теплової енергії від джерела – РОК – до споживача – індивідуального теплового пункту (ІТП) житлового будинку – відбувається міськими водяними мережами. Теплоносій – гаряча вода з параметрами $T_1/T_2 = 110/60$ °С.

В котельні встановлені водогрійні котли тепловою потужністю до 300 кВт, призначені для факельного спалювання вугілля з високим вмістом летючих (типу газового вугілля марки ГР – див. табл. 5.1) з сухим шлаковидаленням. В котлі застосовується ступенева подача

повітря з рециркуляцією димових газів. Для уловлювання твердих часток використовується електростатичний фільтр типу ЕГА з ефективністю золоуловлювання 0,985. Установки для очищення димових газів від оксидів азоту та сірки відсутні.

Як альтернативний варіант в якості палива використовують природний газ з фізико-хімічними властивостями, які наведені у табл. 5.2.

Таблиця 5.2

Орієнтовний склад, теплота згоряння та густина природного газу
(газопровід Уренгой-Помари-Ужгород)

	Компонент							
	CH_4	C_2H_6	C_3H_8	C_4H_{10}	C_5H_{12}	CO_2	N_2	H_2S
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Об'ємні частки в сухому газі, %	98,9	0,12	0,011	0,01	0,00	0,06	0,90	0,00

5.1.2. Розрахунок витрат первинної енергії

На підставі даних, наведених у табл. Б.1 додатку Б, приймають значення коефіцієнтів корисної дії (к.к.д.) структурних елементів системи центрального водяного теплопостачання і з використанням опалювальною котельнею в якості палива вугілля, а саме:

- 1) генерація теплоти – $\eta_1 = 0,75$;
- 2) транспортування – $\eta_2 = 0,75$;
- 3) трансформація – $\eta_3 = 0,95$;
- 4) розподіл – $\eta_4 = 0,9$.

Значення приведенного коефіцієнту корисної дії з достатньою точністю обраховують з використанням формули (2.3):

$$\eta_{tot}^Q = 0,75 \cdot 0,75 \cdot 0,95 \cdot 0,9 = 0,481.$$

Відповідно, витрата первинної енергії згідно формули (2.6) становить:

$$E_{tot}^Q = \frac{400}{0,481} = 831,6 \text{ тис. кВт-год./рік.}$$

Для аналогічної за конструктивом системи тепlopостачання, але з використанням альтернативного палива – природного газу – значення к.к.д. структурних елементів згідно з табл. Б.1 додатку Б є такими:

- 1) генерація теплоти – $\eta_1 = 0,85$;
- 2) транспортування – $\eta_2 = 0,75$;
- 3) трансформація – $\eta_3 = 0,95$;
- 4) розподіл – $\eta_4 = 0,9$.

Тоді приведений коефіцієнт корисної дії системи дорівнює

$$\eta_{tot}^Q = 0,85 \cdot 0,75 \cdot 0,95 \cdot 0,9 = 0,545.$$

А витрата первинної енергії становить

$$E_{tot}^Q = \frac{400}{0,545} = 733,9 \text{ тис. кВт-год./рік.}$$

5.1.3. Розрахунок витрат первинного палива

Теплота згоряння кам'яного вугілля марки ГР згідно з даними табл. 5.1 становить $Q_p^{daf} = 31,69$ МДж/кг. Для альтернативного палива – природного газу – з характеристиками, вказаними у табл. 5.2, її визначають на підставі закону Дальтона (формула (2.9)), керуючись даними табл. В.2 додатку В для температурних умов згоряння/вимірювання 0/0 °С:

$$Q_p^H = 0,01 \cdot (98,9 \cdot 35,818 + 0,12 \cdot 63,76 + 0,011 \cdot 91,18 + 0,01 \cdot 118,61) = 35,52 \text{ МДж/м}^3.$$

Відповідно, витрата первинного палива (формула (2.10)) при використанні вугілля марки ГР становить:

$$V_{tot}^\Sigma = 3,6 \cdot 831,6 \cdot 10^3 \cdot \frac{10^{-3}}{31,69} = 94,470 \text{ т/рік,}$$

а при використанні природного газу:

$$V_{tot}^\Sigma = 3,6 \cdot 733,9 \cdot 10^3 \cdot \frac{10^{-3}}{35,52} = 74,382 \text{ тис. м}^3/\text{рік.}$$

5.2. Розрахунки викидів забруднювальних речовин і парникових газів в атмосферне повітря

При спалюванні вугілля в атмосферне повітря надходять оксиди вуглецю (CO і CO_2) та азоту (NO_2 і N_2O), сірчистий ангідрид SO_2 ,

тверді частинки, метан CH_4 . При використанні альтернативного палива – природного газу – кількість забруднювальних речовин і парникових газів дещо зменшується – лише оксиди вуглецю (CO і CO_2) й азоту (NO_2 і N_2O) і метан CH_4 .

5.2.1. Показники емісії при спалюванні вугілля

5.2.1.1. Діоксид азоту NO_2

При спалюванні кам'яного вугілля в котлах з тепловою потужністю до 300 кВт з твердим шлаковидаленням показник емісії оксидів азоту без урахування первинних заходів (k_{NOx})_о згідно даних табл. Д.5 додатку Д дорівнює 160г/ГДж.

Котлоагрегати котельні працюють із запасом потужності. Відповідно, співвідношення $Q_{\phi}/Q_o = 0,75$.

Значення емпіричного коефіцієнта z згідно даних табл. Д.6 додатку Д для водогрійних котлів, які працюють на твердому паливі, складає $z=1,15$.

Ефективність первинних заходів η_I зі скорочення викидів оксидів азоту при ступеневій подачі повітря та рециркуляції димових газів становить $\eta_I=0,4$.

Таким чином, показник емісії оксидів азоту k_{NOx} , г/ГДж в перерахунку на діоксид NO_2 , розрахований за формулою (3.2), дорівнює:

$$k_{NOx} = 160 \cdot 0,75^{1,15} (1 - 0,4) = 98,96 \cong 99 \text{ г/ГДж.}$$

5.2.1.2. Діоксид сірки SO_2

Показник емісії оксидів сірки SO_2 і SO_3 у перерахунку на діоксид SO_2 розраховують за формулою (3.3).

Для вугілля Львівсько-Волинського басейну марки ГР вміст сірки у паливі на робочу масу S^{daf} становить 3,7 % згідно даних табл. А.1 додатку А.

Ефективність зв'язування оксидів сірки золою у топці при факельному спалюванні вугілля в котлах з твердим шлаковидаленням на підставі даних табл. Д.2 додатку Д дорівнює $\eta_I = 0,1$.

Сірководоксидні установки – відсутні. Відповідно, $\eta_{II} = 0,1$.

Таким чином, показник емісії k_{SO_2}

$$k_{SO_2} = \frac{10^6}{31,69} \cdot \frac{2 \cdot 3,7}{100} (1 - 0,1) = 2101,6 \text{ г/ГДж.}$$

5.2.1.3. Тверді частинки

Показник емісії речовин у вигляді суспендованих твердих частинок розраховують за формулою (3.5).

Для вугілля Львівсько-Волинського басейну марки ГР масовий вміст золи в паливі на робочу масу згідно з даними табл. А.1 додатку А становить $A^r = 39 \%$.

Частка золи, яка виходить з котла у вигляді леткої золи, для топок з твердим шлаковидаленням згідно табл. Д.1 додатку Д дорівнює $a_{вин} = 0,95$.

Масовий вміст горючих речовин у викидах в атмосферне повітря твердих частинок $\Gamma_{вин} = 1,5 \%$.

Ефективність очищення димових газів від твердих частинок $\eta_{3У} = 0,985$ (встановлені електростатичні фільтри типу ЕГА):

$$k_{ТВ} = \frac{10^6}{31,69} \cdot 0,95 \cdot \frac{39}{100 - 1,5} (1 - 0,985) = 178,04 \text{ г/ГДж.}$$

5.2.1.4. Оксид вуглецю CO

Показник емісії оксиду вуглецю при спалюванні вугілля в котлах з твердим шлаковидаленням згідно з даними табл. Е.1 додатку Е становить $k_{CO} = 11,4 \text{ г/ГДж.}$

5.2.1.5. Діоксид вуглецю CO₂

Показник емісії діоксиду вуглецю обраховують за формулою (3.5).

Для вугілля Львівсько-Волинського басейну марки ГР масовий вміст вуглецю в паливі на робочу масу $C^{daf} = 79,5 \%$. (див. табл. А.1 додатку А).

Ступінь окислення вуглецю палива ε_C визначають за формулою (3.7).

Технічний аналіз уловленої золи та шлаку показав, що масовий вміст горючих речовин у леткій золі $\Gamma_{вин} = 1,5 \%$, а у шлаці – $\Gamma_{инл} = 0,5 \%$:

$$\varepsilon_c = 1 - \frac{39}{79,5} \left(0,95 \cdot \frac{1,5}{100-1,5} + (1 - 0,95) \cdot \frac{0,5}{100-0,5} \right) = 0,993.$$

Частка легкої золи $a_{вин}$ при спалюванні вугілля в котлах з твердим шлаковидаленням згідно табл. Д.1 додатку Д $a_{вин}=0,95$.

Показник емісії вуглекислого газу:

$$k_{CO_2} = \frac{44}{12} \cdot \frac{79,5}{100} \cdot \frac{10^6}{31,69} \cdot 0,993 = 91341 \text{ г/ГДж.}$$

5.2.1.6. Оксид діазоту N_2O

При факельному спалюванні вугіллі згідно даних табл. Е.3 додатку Е $k_{N_2O}=1,4$ г/ГДж.

5.2.1.7. Метан CH_4

При спалюванні вугілля показник емісії метану k_{CH_4} дорівнює згідно даних табл. Е.4 додатку Е $k_{CH_4}=1,0$ г/ГДж.

Отримані за результатами виконаних розрахунків значення показників емісії інгредієнтів, які надходять в атмосферне повітря при спалюванні вугілля, наведені у табл. 5.3.

Таблиця 5.3

Викиди забруднювальних речовин і парникових газів
в атмосферу при спалюванні вугілля

Інгредієнт	Показник емісії, г/ГДж	Викид в атмосферу, т/рік	Податкові зобов'язання за викид, грн./рік	Примітка
1	2	3	4	5
А. Забруднювальні речовини				
Діоксид азоту NO_2	99,0	0,2964	763,06	
Діоксид сірки SO_2	2101,6	6,2917	16197,54	
Тверді частинки	178,04	0,5330	51,70	
Оксид вуглецю CO	11,4	0,0331	3,21	
Разом		7,1542	17015,51	

Закінчення таблиці 5.3

Інгредієнт	Показник емісії, г/ГДж	Викид в атмосферу, т/рік	Податкові зобов'язання за викид, грн./рік	Примітка
1	2	3	4	5
Б. Парникові гази				
Діоксид вуглецю CO_2	91341	273,4525	8203,58	
Оксид діазоту N_2O	1,4	0,0041	17,29	
Метан CH_4	1,0	0,0030	0,44	
Разом		273,4596	8221,31	
Всього		280,6138	25236,82	

5.2.2. Показники емісії при спалюванні природного газу

5.2.2.1. Діоксид азоту NO_2

При факельному спалюванні природного газу в котлах з тепловою потужністю до 300 кВт показник емісії оксидів азоту без урахування первинних заходів $(k_{NOx})_0$ згідно даних табл. Д.5 додатку Д дорівнює 100 г/ГДж.

Котлоагрегати котельні працюють із запасом потужності. Відповідно, співвідношення $Q_\phi / Q_o = 0,75$.

Значення емпіричного коефіцієнта z згідно даних табл. Д.6 додатку Д для водогрійних котлів, які в якості палива використовують природний газ, складає $z=1,25$.

Ефективність первинних заходів η_I зі скорочення викидів оксидів азоту в котлах з малотоксичними пальниками зі ступеневою подачею повітря і рециркуляцією димових газів становить $\eta_I = 0,5$.

Таким чином, показник емісії оксидів азоту k_{NOx} , г/ГДж в перерахунку на діоксид NO_2 , розрахований за формулою (3.2), дорівнює:

$$k_{NOx} = 100 \cdot 0,75^{1,25} (1 - 0,5) = 34,90 \text{ г/ГДж.}$$

5.2.2.2. Оксид вуглецю CO

Показник емісії оксиду вуглецю при факельному спалюванні природного газу згідно з даними табл. Е.1 додатку Е становить $k_{CO}=17,0$ г/ ГДж.

5.2.2.3. Діоксид вуглецю CO₂

Попередньо слід визначити масовий вуглецю в паливі.

Питому масу кожного індивідуального газу в сухому стані газоподібного палива, кількісний і якісний склад якого вказаний у вихідних даних – табл. 5.2) обраховують за формулами (3.8)-(3.11), (3.13) і (3.14):

$$m_{CH_4} = 0,716 \cdot 0,01 \cdot 98,9 = 0,7081 \text{ кг/м}^3;$$

$$m_{C_2H_6} = 1,342 \cdot 0,01 \cdot 0,12 = 0,0016 \text{ кг/м}^3;$$

$$m_{C_3H_8} = 1,967 \cdot 0,01 \cdot 0,011 = 0,0002 \text{ кг/м}^3;$$

$$m_{C_4H_{10}} = 2,593 \cdot 0,01 \cdot 0,01 = 0,0003 \text{ кг/м}^3;$$

$$m_{N_2} = 1,250 \cdot 0,01 \cdot 0,9 = 0,0113 \text{ кг/м}^3;$$

$$m_{CO_2} = 1,964 \cdot 0,01 \cdot 0,06 = 0,0012 \text{ кг/м}^3.$$

Густину сухого газоподібного палива ρ_H , кг/м³ визначають як суму питомих мас індивідуальних газів, що входять до складу палива, використовуючи формулу (3.21):

$$\rho_H = 0,7081 + 0,0016 + 0,0002 + 0,0003 + 0,0113 + 0,0012 = 0,7227.$$

Масовий елементний склад сухого природного газу знаходять за формулами (3.16)-(3.19):

$$C^{daf} = \frac{100}{0,7227} \left(\frac{12}{12+4} 0,7081 + \frac{12 \cdot 2}{12 \cdot 2 + 6} 0,0016 + \frac{12 \cdot 3}{12 \cdot 3 + 8} 0,0002 + \frac{12 \cdot 4}{12 \cdot 4 + 10} 0,0003 + 0,273 \cdot 0,0012 \right) = 73,76 \%;$$

$$H^{daf} = \frac{100}{0,7227} \left(\frac{4}{12+4} 0,7081 + \frac{6}{12 \cdot 2 + 6} 0,0016 + \frac{8}{12 \cdot 3 + 8} 0,0002 + \frac{10}{12 \cdot 4 + 10} 0,0003 \right) = 24,55 \%;$$

$$N^{daf} = \frac{100}{0,7227} 0,0113 = 1,56 \%;$$

$$O^{daf} = \frac{100}{0,7227} 0,727 \cdot 0,0012 = 0,12 \%.$$

Масову нижчу теплоту згорання природного газу знаходять за формулою (3.22):

$$Q_i^r = \frac{35,52}{0,7227} = 49,15 \text{ МДж/кг.}$$

Для природного газу рекомендоване значення ступеню окислення вуглецю палива ε_C становить 0,995.

Таким чином, показник емісії вуглекислого газу при згорянні палива, обрахований за формулою (3.5), дорівнює

$$k_{CO_2} = \frac{44}{12} \cdot \frac{73,76}{100} \cdot \frac{10^6}{49,15} \cdot 0,995 = 54751 \text{ г/ГДж.}$$

5.2.2.4. Оксид діазоту N_2O

При факельному спалюванні природного газу згідно даних табл. Е.3 додатку Е $k_{N_2O} = 0,1$ г/ГДж.

5.2.2.5. Метан CH_4

При використанні природного газу показник емісії метану k_{CH_4} дорівнює згідно даних табл. Е.4 додатку Е $k_{CH_4} = 1,0$ г/ГДж.

Отримані за результатами виконаних розрахунків значення показників емісії інгредієнтів, які надходять в атмосферне повітря при спалюванні природного газу, наведені у табл. 5.4.

Таблиця 5.4

Викиди забруднювальних речовин і парникових газів
в атмосферу при спалюванні природного газу

Інгредієнт	Показник емісії, г/ГДж	Викид в атмосферу, т/рік	Податкові зобов'язання за викид, грн./рік	Примітка
1	2	3	4	5
А. Забруднювальні речовини				
Діоксид азоту NO_2	34,90	0,0922	237,36	
Діоксид сірки SO_2	–	–	–	
Тверді частинки	–	–	–	
Оксид вуглецю CO	17,0	0,0449	4,35	
Разом		0,1371	241,71	

Інгредієнт	Показник емісії, г/ГДж	Викид в атмосферу, т/рік	Податкові зобов'язання за викид, грн./рік	Примітка
1	2	3	4	5
Б. Парникові гази				
Діоксид вуглецю CO_2	54751	144,6580	4339,74	
Оксид діазоту N_2O	0,1	0,0003	1,27	
Метан CH_4	1,0	0,0026	0,38	
Разом		144,6609	4341,39	
Всього		144,7980	4583,10	

5.2.3. Викиди забруднювальних речовин і парникових газів при спалюванні вугілля

Валовий викид будь-якої забруднювальної речовини/парникового газу, що надходить в атмосферу разом із димовими газами, визначають за формулою (3.24) на підставі показників емісії, витрати та характеристики (теплоти згоряння) палива.

Значення показників емісії для інгредієнтів, які забруднюють довкілля, визначені у п. 5.2.1, а результати розрахунків наведені у табл. 5.3. Витрата вугілля на РОК дорівнює $V_{tot}^{\Sigma} = 94,470$ т/рік, а теплота згоряння – $Q_p^{daf} = 31,69$ МДж/кг.

Наприклад, викиди діоксиду азоту становлять:

$$E_{NOx} = 10^{-6} \cdot 99,0 \cdot 94,470 \cdot 31,69 = 0,2964 \text{ т/рік.}$$

Для інших інгредієнтів розрахунки виконують аналогічно. Результати наведені у табл. 5.3.

При спалюванні вугілля сумарні викиди забруднювальних речовин – $\Sigma E_1 = 7,1542$ т/рік (2,55 %), парникових газів – $\Sigma E_2 = 273,4596$ т/рік (97,45 %), загальні – $\Sigma E = 280,6138$ т/рік (100,00 %).

5.2.4. Викиди забруднювальних речовин і парникових газів при спалюванні природного газу

Валовий викид будь-якої забруднювальної речовини/парникового газу, що надходить в атмосферу разом із димовими газами, визначають за формулою (3.24) на підставі показників емісії, витрати та характеристики (теплоти згоряння) палива.

Значення показників емісії для інгредієнтів, які забруднюють довкілля, визначені у п. 5.2.2, а результати розрахунків наведені у табл. 5.4. Витрата природного газу на РОК, обрахована за формулою (3.23), дорівнює $B_{tot}^{\Sigma} = 72,382 \cdot 0,7227 = 53,756$ т/рік, а теплота згоряння – $Q_p^{daf} = 49,15$ МДж/кг.

Наприклад, викиди діоксиду азоту становлять

$$E_{NOx} = 10^{-6} \cdot 34,9 \cdot 53,756 \cdot 49,15 = 0,0922 \text{ т/рік.}$$

Для інших інгредієнтів розрахунки виконують аналогічно. Результати наведені у табл. 5.4.

При спалюванні вугілля сумарні викиди забруднювальних речовин – $\Sigma E_1 = 0,1371$ т/рік (0,095 %), парникових газів – $\Sigma E_2 = 144,6609$ т/рік (99,905 %), загальні – $\Sigma E = 144,7980$ т/рік (100,00 %).

5.3. Економічні розрахунки

5.3.1. Вартість палива

5.3.1.1. Паливо – вугілля

Вартість первинного палива – вугілля Львівсько-Волинського басейну марки ГР при ціні $c_1 = 11500$ грн./т і сумарній витраті $B_{tot_1}^{\Sigma} = 94,740$ т/рік згідно з формулою (4.1) становить:

$$C_1 = 11500 \cdot 94,740 = 1086405 \text{ грн./рік}$$

або з розрахунку на 1 м^2 кондиціонованої площі будинку:

$$\frac{1086405}{5000} = 217,28 \text{ грн./}(\text{м}^2 \cdot \text{рік}).$$

5.3.1.2. Паливо – природний газ

Вартість природного газу визначають аналогічно. Ціна палива – $c_2 = 16390$ грн./ 1000 м^3 , а витрата – $B_{tot_2}^{\Sigma} = 74,382$ тис. м^3 :

$$C_2 = 16390 \cdot 74,382 = 1219121 \text{ грн./рік}$$

або з розрахунку на 1 м^2 кондиціонованої площі будинку:

$$\frac{1219121}{5000} = 243,82 \text{ грн./}(\text{м}^2 \cdot \text{рік}).$$

5.3.1.3. Висновки

При використанні вугілля Львівсько-Волинського басейну марки ГР економія коштів у порівнянні з використанням природного газу для забезпечення систем опалення і гарячого водопостачання багатоквартирного житлового будинку складе:

$$\left| \frac{217,28 - 243,82}{217,28} 100 \% \right| = 12,21 \%.$$

5.3.2. Податкові зобов'язання за викиди продуктів згоряння в атмосферне повітря

5.3.2.1. Паливо – вугілля

При спалюванні вугілля в атмосферне повітря надходять продукти згоряння, які нараховують 7 інгредієнтів, з них: 4 – забруднювальні речовини (діоксид азоту NO_x , сірчистий ангідрид SO_2 , тверді частинки, оксид вуглецю CO), 3 – парникові гази (діоксид вуглецю CO_2 , діазоту оксид N_2O , метан CH_4).

Плату за забруднення довкілля розраховують окремо для кожного із інгредієнтів за формулою (4.2) з наступним групуванням: окремо для забруднювальних речовин і окремо для парникових газів. Ставки податку вказані у табл. Г.1 додатку Г, а викиди продуктів згоряння при спалюванні вугілля наведені у табл. 5.3.

Наприклад, ставка податку за викиди сірчистого ангідриду дорівнює 2574,43 грн./т, а викид в атмосферне повітря становить 6,2917 т/рік.

Тоді:

$$C_{SO_2} = 2574,43 \cdot 6,2917 = 16197,54 \text{ грн./рік.}$$

Результати розрахунків податкових зобов'язань за викиди в атмосферне повітря для інших інгредієнтів наведені у табл. 5.3. Сумарні економічні збитки від використання в якості палива вугілля дорівнюють 25236, 82 грн./рік (100.0 %).

Основний вклад в забруднення довкілля внесли викиди сірчистого ангідриду SO_2 – 16197,54 грн./рік (64,18 %) і вуглекислого газу CO_2 – 8203,58 грн./рік (32,51%). Сумарний вклад даних інгредієнтів становить 96,69 %.

Щодо забруднення атмосферного повітря сірчистим ангідридом – є декілька причин цього:

- 1) високий вміст оксидів сірки у складі вугілля $S^{daf} = 3,7$ %;
- 2) відсутність заходів з очищення продуктів спалювання від цього інгредієнта.

При контакті з водяною парою в атмосфері сполуки SO_2 і SO_3 утворюють сірчисту і сірчану кислоти, чим спричиняють погіршення здоров'я людини, руйнування металевих конструкцій, зниження прозорості атмосфери та врожайності сільськогосподарських культур.

Основним методом очищення вугілля від сполук сірки є введення спеціальних присадок до палива, а також зменшення їх вмісту після видобутку на гірничо-збагачувальних фабриках (перед застосуванням) до величин не більше 2 %.

Для очищення продуктів спалювання від оксидів сірки існує безліч методів. Це і зрошення димових газів вапняним молоком, окислення на ванадієвому каталізаторі чи окислення тощо. Проте усі вони – дорого вартісні, і можлива реалізація лише на великих котельнях і ТЕЦ. Для теплогенераторів автономних систем теплопостачання це практично нездійсненно.

5.3.2.2. Паливо – природний газ

При спалюванні природного газу в атмосферне повітря разом з продуктами згоряння надходять лише 2 забруднювальні речовини (діоксид азоту NO_x , оксид вуглецю CO) і 3 інгредієнти, які утворюють групу парникових газів (діоксид вуглецю CO_2 , діазоту оксид N_2O , метан CH_4).

Ставки податку за забруднення навколишнього природного середовища вказані у табл. Г.1 додатку Г, а викиди продуктів згоряння при спалюванні природного газу наведені у табл. 5.4.

Розрахунки виконують аналогічно як для вугілля. Результати розрахунків наведені у табл. 5.4. Сумарні податкові зобов'язання за викиди в атмосферу продуктів згоряння палива становлять 4583,10 грн./рік (100.0 %).

Найбільш вклад у забруднення довкілля вносить діоксид вуглецю CO_2 – основний парниковий газ – 4339,74 грн./рік (94,69 %).

Під час спалювання природного газу за шкідливістю викидів серед забруднювальних речовин на перше місце виходять оксиди азоту. В атмосфері діоксид азоту зменшує прозорість повітря та кількість ультрафіолетового випромінювання, що надходить на Землю. Це призводить до виникнення т.зв. смогів. Крім того, він може бути також причиною «кислотних дощів».

До основних методів придушення утворення NO_x можна віднести методи, суть яких полягає у зменшенні температури в зоні горіння і концентрації реагуючих речовин, наприклад, двостадійне спалювання, зменшення коефіцієнта надлишку повітря тощо. Очищення викидів від оксидів азоту відбувається, як правило, за допомогою спеціальних каталізаторів.

Слід відмітити, що більшість методів придушення утворення оксидів азоту призводять до підвищення концентрації оксиду вуглецю в димових газах. Винятком є подавання води або пари в зону горіння.

Питомі викиди CO при спалюванні в котлах малої потужності достатньо високі у порівнянні з роботою великих котлоагрегатів, Це викликає збільшення концентрації оксидів вуглецю в густонаселених пунктах, особливо при децентралізованому тепlopостачанні. Загалом оксид вуглецю – високотоксична речовина, яка добре реагує з гемоглобіном, що призводить до отруєння організму включно зі смертельними випадками.

5.3.3. Питомі характеристики систем енергозабезпечення житлового будинку

Кондиціонована площа житлового будинку становить $A=5000 \text{ м}^2$.

5.3.3.1. Розрахункові питомі витрати первинної енергії та палива

За результатами попередньо виконаних розрахунків витрати первинної енергії для потреб енергозабезпечення багатоповерхового житлового будинку при використанні в якості первинного палива вугілля становлять $E_{tot}^Q = 831,6$ тис. кВт-год./рік, а при використанні природного газу – $E_{tot}^Q = 733,9$ тис. кВт-год./рік.

Обраховані за формулою (4.4) питомі витрати первинної енергії для 1 м^2 кондиціонованої площі житлового будинку при використанні:

1) вугілля:

$$EP_1 = 831,6 \cdot 10^6 / 5000 = 166,32 \text{ кВт-год./м}^2 \cdot \text{рік};$$

2) природного газу:

$$EP_2 = 733,9 \cdot 10^6 / 5000 = 146,78 \text{ кВт-год./м}^2 \cdot \text{рік}.$$

Тобто, при використанні природного газу витрати енергії зменшуються на:

$$\frac{166,32 - 146,78}{146,78} \cdot 100 \% = 13,31 \%$$

Витрати первинного палива (в перерахунку на нафтовий еквівалент) становлять, відповідно, при використанні:

1) вугілля:

$$b_{\text{тне1}} = \frac{166,32}{11,63 \cdot 10^3} = 14,3 \cdot 10^{-3} \text{ т н.е. або } 14,3 \text{ кг н.е.};$$

2) природного газу:

$$b_{\text{тне2}} = \frac{146,78}{11,63 \cdot 10^3} = 12,62 \cdot 10^{-3} \text{ т н.е. або } 12,62 \text{ кг н.е.}$$

5.3.3.2. Розрахункові питомі викиди забруднювальних речовин і парникових газів в атмосферне повітря

При спалюванні вугілля, наприклад, викиди діоксиду азоту становлять $E_{\text{NOx}} = 0,2964$ т/рік. Якщо кондиціонована площа багатоповерхового житлового будинку $A=5000 \text{ м}^2$, то розрахункове питома забруднення довкілля цим інгредієнтом визначають за формулою (4.8) і воно дорівнює:

$$e_{NOx} = 0,2964 \cdot 10^6 / 5000 = 59,28 \text{ г/м}^2 \cdot \text{рік}.$$

Для інших інгредієнтів розрахунки виконують аналогічно. Результати при використанні в якості палива вугілля Львівсько-Волинського басейну марки ГР і природного газу з магістрального газопроводу «Уренгой-Помари-Ужгород» наведені у табл. 5.5.

Таблиця 5.5

Розрахункові питомі зобов'язання за забруднення довкілля

Інгредієнт	Викиди в атмосферу, г/м ² · рік		Податкові зобов'язання за викиди, коп./м ² · рік	
	вугілля	природний газ	вугілля	природний газ
1	2	3	4	5
А. Забруднювальні речовини				
Діоксид азоту NO_2	59,28	18,44	15,26	4,75
Діоксид сірки SO_2	1258,34	–	323,95	–
Тверді частинки	106,60	–	1,03	–
Оксид вуглецю CO	6,62	8,98	0,06	0,09
Разом	1430,84	27,42	340,30	4,84
Б. Парникові гази				
Діоксид вуглецю CO_2	54690,5	28931,6	164,07	86,79
Оксид діазоту N_2O	0,82	0,06	0,35	0,03
Метан CH_4	0,6	0,52	0,01	0,01
Разом	54691,9	28932,18	164,43	88,83
Всього	56122,7	28959,60	504,73	91,67

Проаналізувавши результати розрахунків, можна зробити наступні висновки:

1. При використанні в якості палива природного газу сумарні викиди забруднювальних речовин і парникових газів зменшуються практично у 2 рази у порівнянні з вугіллям марки ГР ($56122,7/28959,6 = 1,94$).

2. Максимальне забруднення довкілля спричиняє діоксид вуглецю CO_2 . Водночас при спалюванні вугілля його викиди перевищують аналогічні при спалюванні природного газу в $54690,5/28931,6=1,89$ рази.

3. При спалюванні вугілля викиди діоксиду азоту перевищують аналогічні при спалюванні природного газу у $59,28/18,44=3,21$ рази.

5.3.3.3. Розрахункові питомі податкові зобов'язання за забруднення довкілля

Питомі податкові зобов'язання за забруднення довкілля викидами продуктів згоряння палив визначають за формулою (4.10).

За результатами попередніх розрахунків при спалюванні вугілля податкові зобов'язання за викиди в атмосферне повітря діоксиду азоту становлять $C_{NOx} = 763,06$ грн./рік (див. табл. 5.3). Відповідно, питомі нормативи складають:

$$c_{NOx} = 763,06 \cdot \frac{100}{5000} = 15,26 \text{ коп./м}^2 \cdot \text{рік.}$$

Для інших інгредієнтів розрахунки виконують аналогічно. Результати наведені у табл. 5.5.

Проаналізувавши результати розрахунків, можна зробити наступні висновки:

1. При використанні в якості палива природного газу сумарні розрахункові питомі податкові зобов'язання за забруднення довкілля зменшуються більш ніж у 5 разів у порівнянні з вугіллям ГР ($504,73/91,67=5,51$).

2. При спалюванні вугілля найбільш агресивним для довкілля інгредієнтом є сірчистий ангідрид SO_2 . Його частка становить 64,18 % від загальних податкових зобов'язань за викиди.

3. При використанні природного газу в якості палива найбільш вклад у забруднення атмосферного повітря вносять викиди вуглекислого газу – майже 95 %.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ТА РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Паризька угода: ратифіковано Законом України. – Документ 995_161, поточна редакція, підстава – 1469-VIII. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_161#Text (дата звернення: 19.10.2023).

2. Про енергоефективність: Директива Європейського парламенту та Ради 2012/27EU. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: http://sae.gov.ua/sites/default/files/UKR_Directive_27_2012_2 (дата звернення: 19.10.2023).

3. Енергетична стратегія України на період до 2035 р. «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». – Схвал. розпорядженням КМУ від 18.08.2017 р. №605-р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/publish/article?art_id=24523_4085 (дата звернення: 19.10.2023).

4. Про енергетичну ефективність: Закон України. – Документ 1818-IX. – Редакція від 27.07.2023, підстава – 3220-IX. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1818-20#Text> (дата звернення: 19.10.2023).

5. Про енергетичну ефективність будівель: закон України. – Документ 2118-VIII. – Редакція від 03.08.2023, підстава – 2392-IX. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19#Text> (дата звернення: 19.10.2023).

6. Стратегія низьковуглецевого розвитку України на період до 2050 року. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/07/LEDS_ua_last.pdf (дата звернення: 19.10.2023).

7. ДСТУ 9190:2022. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання. [Чинний від 2023-03-01]. – К.: Мінрегіон України, 2022. – 145 с.

8. ДСТУ-Н Б А.2.2-13:2015. Енергетична ефективність будівель. Настанова з проведення енергетичної оцінки будівель. [Чинний з 01.01.2016 р.]. – К.: Мінрегіон України, 2015. – 25 с.

9. Енергетична ефективність будівель. Настанова з розробки та складання енергетичного паспорту: методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи / уклад. К.М.Предун, О.В.Скороход, А.С.Москвітіна. – К.: КНУБА, 2018. – 88 с.

10. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. [Чинний з 1.09.2022 р.]. – К.: Мінрегіон України, 2022. – 23 с.

11. ГКД 34.02.305-2002. Викиди забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок. Методика визначення. – Київ: Вид-цтво «КВІЦ», 2002. – 29 с.

12. Енергетична стратегія України на період до 2030 р. – Схвал. розпорядженням КМУ від 15 березня 2006 р. N 145-р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/145-2006-p> (дата звернення: 19.10.2023).

13. Про теплопостачання: закон України. – Редакція від 09.06.2018. – 2417-VIII. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2633-15> (дата звернення: 19.10.2023).

14. Про альтернативні види палива: закон України». – Редакція від 24.11.2016. – 1713-VIII. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1391-14> (дата звернення: 19.10.2023).

15. Про альтернативні джерела енергії: закон України. – Редакція від 11.06.2017. – 2019-VIII. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15> (дата звернення: 19.10.2023).

16. Про охорону навколишнього природного середовища: закон України. – Редакція від 8.10.2023. – 2614-IX. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text> (дата звернення: 19.10.2023).

17. Податковий кодекс України. – Документ 2755-VI, чинний, поточна редакція. – Редакція від 03.09.2023, підстава – 3303-IX,

3325-IX. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2755-17#Text> (дата звернення: 19.10.2023). – Назва з екрана.

18. Природний газ. Обчислення теплоти згорання, густини, відносної густини і числа Воббе. На основі компонентного складу: ДСТУ ISO 6976:2009. [Чинний від 2011-01-01]. – К.: Держспожив-стандарт України, 2010. – 53 с.

19. Єнін П.М. Газопостачання населених пунктів і об'єктів природним газом: навч. посібник / П.М. Єнін, Г.Г. Шишко, К.М. Предун. – К.: Логос, 2002. – 196 с.

20. Вартість вугілля. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://icoal.com.ua/uk/mahazyn/> (дата звернення: 19.10.2023). – Назва з екрана.

21. Вартість мазуту. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://tcu.com.ua/oil-products> (дата звернення: 19.10.2023). – Назва з екрана.

22. Вартість альтернативного палива. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://ecowarm.com.ua/tovary/> (дата звернення: 19.10.2023). – Назва з екрана.

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПАЛИВ

Таблиця А.1

Елементний склад вугілля (масовий вміст на горючу масу) [11]

Вугілля	Інгредієнт, %						Q_p^{daf} , МДж/кг
	вуглець C^{daf}	водень H^{daf}	сірка S^{daf}	кисень O^{daf}	азот N^{daf}	леткі V^{daf}	
Львівсько-волинське ГР	79,5	5,2	3,7	10,3	1,3	39,0	31,69
Антрацитовий штиб АШ	93,5	1,8	2,4	1,5	0,8	4,0	33,24
Донецьке газове ГР	81,0	5,4	4,4	7,7	1,5	40,0	31,98
Пісне вугілля ГР	89,0	4,2	3,3	2,1	1,5	12,0	34,29
Олександрійське буре Б1Р	67,5	5,8	5,9	19,9	0,9	58,5	26,98

Таблиця А.2

Елементний склад і характеристики енергетичних мазутів [11]

Мазут	Показники:							
	середні:					граничні:		
	S^{daf} , %	C^{daf} , %	H^{daf} , %	$(O+N)^{daf}$, %	Q_p^{daf} , МДж/кг	A^d , %	Зола (V_2O_5), мг/кг	W^r , %
Високо-сірчистий:								
М40	2,5	85,5	11,2	0,8	40,40	0,15	600	2,0
М100	2,7	85,7	10,6	1,0	40,03	0,15	600	2,0
М200	3,0	85,9	10,2	0,9	39,77	0,30	1200	1,0
Мало-сірчистий:								
М40	0,4	87,5	11,5	0,6	41,24	0,15	600	2,0
М100	0,4	87,5	11,1	1,0	40,82	0,15	600	2,0

Таблиця А.3

Елементний склад (масовий вміст на горючу масу)
альтернативних палив

Паливо	A_r , %	W_r , %	Елементний склад, %					Q_p^{daf} , МДж/кг
			C^{daf}	H^{daf}	S^{daf}	O^{daf}	N^{daf}	
Деревина	0,7	30,0	35,4	4,2	0	29,3	0,4	12,31
Солома	4,5	10,0	42,7	5,3	0,1	36,9	0,5	15,70
Лушпиння соняхів	2,4	15,0	42,5	4,9	0,16	34,6	0,44	19,13
Торф	14,9	30,0	30,7	3,5	0,2	19,2	1,5	11,97

Таблиця А.4

Середній склад природних газів

Родовище	Склад газів, % об'ємні							
	CH_4	C_2H_6	C_3H_8	C_4H_{10}	C_5H_{12}	CO_2	N_2	H_2S
Уренгойське	97,6	0,1	0,01	–	–	0,3	1,9	–
Медвеже	99,0	0,1	0,005	–	–	0,095	0,8	–
Ямбурзьке	98,6	0,1	–	–	–	0,1	1,2	–
Дашавське	98,3	0,33	0,12	0,115	–	0,1	1,0	–
Шебелинське	93,3	4,0	0,6	0,4	0,3	0,1	1,3	–
Гадяцьке	85,15	5,9	2,66	0,91	0,57	3,31	1,5	–
Джанкойське	95,9	0,7	0,2	0,03	0,01	0,1	3,0	–
Степановське	95,1	2,3	0,7	0,4	0,8	0,2	0,5	–

ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ

Таблиця Б.1

Коефіцієнти корисної дії системи водяного теплопостачання
(з урахуванням втрат теплоти при генерації, передачі та використанні)

Споживач: система водяного опалення		Індивіду- альний тепловий пункт	Теплова мережа	Генерація теплоти:		
				джерело теплоти	паливо	к.к.д.
Центральна	0,90	0,95	0,75	ТЕЦ	тверде паливо	0,75
					мазут	0,85
					газ	0,85
				РОК	тверде паливо	0,75
					мазут	0,85
					газ	0,85
Місцева	0,95	0,95	–	Індивідуальна котельня	газ	0,90
					альтер- нативне паливо	0,80

Примітка. Приведений коефіцієнт корисної дії системи теплопостачання визначають як добуток коефіцієнтів корисної дії структурних елементів. Наприклад, для системи місцевого теплопостачання з використанням індивідуальної газової водогрійної котельні він дорівнює:

$$\eta_{\text{інд.газ}} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_4 = 0,95 \cdot 0,95 \cdot 0,9 = 0,81.$$

При спалюванні вугілля на РОК:

$$\eta_{\text{РОК.вугілля}} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 = 0,9 \cdot 0,95 \cdot 0,75 \cdot 0,75 = 0,48.$$

Таблиця Б.2

Коефіцієнти корисної дії системи газопостачання
(з урахуванням технологічних витрат та втрат газу)

Споживач: побутовий газовий прилад ПГ (ВПГ)	ГРП (ГРУ)	Газорозподільна мережа населеного пункту	Джерело: ГРС
0,75	0,95	0,98	0,98

Примітка. Приведений коефіцієнт корисної дії системи газопостачання дорівнює:

$$\eta_{г/п} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 = 0,75 \cdot 0,95 \cdot 0,98 \cdot 0,98 = 0,78 .$$

Таблиця Б.3

Коефіцієнти корисної дії системи електропостачання
(з урахуванням втрат)

Споживач		Електро- щитова	Електро- розподільні мережі населеного пункту	ТП-10/ 0,4 кВ	Джерело: ТЕЦ		
					паливо		
					газ	мазут	тверде паливо
Освітлення	0,92	0,95	0,85	0,9	0,45	0,45	0,4
Двигун	0,75						
Нагрів	0,99						

Примітка. Приведений коефіцієнт корисної дії системи електропостачання (без урахування споживачів – оскільки розрахункова потужність визначена на вводі в електрощитову будинку) при використанні в якості палива вугілля становить:

$$\eta_{ел/п} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 = 0,95 \cdot 0,85 \cdot 0,9 \cdot 0,4 = 0,29 .$$

ВЛАСТИВОСТІ КОМПОНЕНТІВ ПРИРОДНОГО ГАЗУ

Таблиця В.1

Теплота згоряння і відносна густина компонентів сухого газоподібного палива при стандартних умовах (20°C і тиску 101,325 кПа) [18]

Компонент	Хімічна формула	Теплота згоряння, МДж/м ³		Відносна густина
		вища	нижча	
Метан	CH_4	37,10	33,41	0,5546
Етан	C_2H_6	65,38	59,85	1,046
Пропан	C_3H_8	93,98	86,53	1,549
<i>n</i> -Бутан	C_4H_{10}	123,78	114,27	2,071
Пентани	C_5H_{12}	155,65	144,02	2,637
Водень	H_2	11,87	10,05	0,0695
Оксид вуглецю	CO	11,78	11,78	0,9671
Сульфід водню	H_2S	23,60	21,75	1,188
Діоксид вуглецю	CO_2	–	–	1,528
Азот	N_2	–	–	0,967
Кисень	O_2	–	–	1,105

Примітки. 1. Густина повітря прийнята рівною 1,205кг/м³.

2. Значення величин у таблиці вказані з урахуванням коефіцієнта стиснення.

Таблиця В.2

Об'ємна теплота згоряння компонентів газоподібного палива за різних стандартних умов згоряння і вимірювання для ідеального газу [19]

Компонент	Ідеальна об'ємна теплота згоряння компоненти, МДж/м ³							
	0/0 °C		25/0 °C		20/20 °C		25/20 °C	
	вища	нижча	вища	нижча	вища	нижча	вища	нижча
Метан	39,840	35,818	39,735	35,808	37,044	33,367	37,024	33,365
Етан	69,79	63,76	69,63	63,74	64,91	59,39	64,88	59,39
Пропан	99,22	91,18	99,01	91,15	92,29	84,94	92,25	84,93
<i>n</i> -Бутан	128,66	118,61	128,37	118,56	119,66	110,47	119,62	110,47
<i>n</i> -Пентан	158,07	146,00	157,75	145,96	147,04	136,01	146,99	136,01
Водень	12,788	10,777	12,752	10,788	11,889	10,050	11,882	10,052
Сульфід водню	25,12	23,10	25,07	23,11	23,37	21,53	23,36	21,53
Оксид вуглецю	12,62	12,62	12,63	12,63	11,76	10,76	11,76	11,76

ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ

Таблиця Г.1

Ставки податку на викиди забруднювальних речовин
і парникових газів [17]

Речовина	NO_x	CO	SO_2	Тверді частки	CO_2	N_2O	CH_4
Ставка податку, грн./т	2574,43	96,99	2574,43	96,99	30,00	4216,92	145,50

Таблиця Г.2

Вартість палив [20-22]

Паливо	Родовище (марка)	Один. виміру	Ціна, грн.
1	2	3	4
Вугілля:	Львівсько-волинське ГР	т	11500
	Антрацитовий штиб АШ	т	16800
	Донецьке газове ГР	т	14300
	Пісне вугілля ТР	т	8300
	Олександрійське буре Б1Р	т	7000
Газ природний		тис. м ³	16390
Мазут:			
– висосірчистий	М40	1000 л	13000
	М100	1000 л	14000
	М200	1000 л	15000
– малосірчистий	М40	1000 л	15000
	М100	1000 л	17000
Альтернативне:	Деревина (дуб)	м ³	1700
	Солома	т	5700
	Лушпиння соняхів	т	6200
	Торф	т	8000

ПАРАМЕТРИ УСТАНОВОК ОЧИЩЕННЯ ДИМОВИХ ГАЗІВ

Таблиця Д.1

Частка леткої золи $\alpha_{вин}$ при різних
технологіях спалювання палива [11]

Характеристика котла	Паливо	
	Вугілля	Мазут
1	2	3
З твердим (сухим) шлаковидаленням	0,95	1,00
Відкрита топка з рідким шлаковидаленням	0,80	1,00
Напіввідкрита топка з рідким шлаковидаленням	0,70	1,00
Двокамерна топка	0,55	1,00
Двокамерна топка з вертикальним передтопком	0,30	1,00
Двокамерна топка горизонтальна циклонна	0,15	1,00
З циркулюючим киплячим шаром	0,50	–
З бульбашковим киплячим шаром	0,20	–
З нерухомим шаром	0,15	–

Таблиця Д.2

Ефективність зв'язування оксидів сірки золюю
або сорбентом у топці [11]

Технологія спалювання	η_l	Примітка
1	2	3
Факельне спалювання вугілля в котлах з рідким шлаковидаленням	0,05	Зв'язування золюю палива
Факельне спалювання вугілля в котлах з твердим шлаковидаленням	0,10	Зв'язування золюю палива
Факельне спалювання мазуту в котлах	0,02	–
Спалювання в киплячому шарі	0,95	Зв'язування сорбентом у котлі при мольному відношенні $Ca/Sm = 2,5$

Таблиця Д.3

Ефективність та коефіцієнт роботи сіркоочисної установки [11]

Технологія десульфуризації димових газів	Параметри сіркоочисної установки	
	η_{II}	β
1	2	3
Мокре очищення – у скрубєрі з використанням вапняку (вапна) або доломіту з одержанням гіпсу	0,95	0,99
Сухе очищення – абсорбція активованим вугіллям	0,95	0,99
Каталітичне очищення від оксидів сірки і азоту (DESONOX, SNOX)	0,95	0,99

Таблиця Д.5

Показник емісії оксидів азоту
без урахування первинних заходів, г/ГДж [11]

Технологія спалювання	Тверде паливо	Мазут	Газо-турбінне паливо	Природний газ
1	2	3	4	5
Факельне спалювання, теплова потужність котла < 300 МВт:	–	140	–	100
– з рідким шлаковидаленням при спалюванні антрациту	250	–	–	–
– з рідким шлаковидаленням при спалюванні кам'яного вугілля	180	–	–	–
– з твердим шлаковидаленням при спалюванні кам'яного вугілля	160	–	–	–
– з горизонтальною циклонною топкою для кам'яного вугілля	480	–	–	–
Циркулюючий киплячий шар	70	–	–	–
Киплячий шар під тиском	100	–	–	–
Нерухомиий шар	100	–	–	–
Камера згоряння газової турбіни	–	150	150	120

Таблиця Д.6

Значення емпіричного коефіцієнта z [11]

Теплова потужність (паропроодуктивність) котельної установки	Тверде паливо	Природний газ, мазут
1	2	3
Паровий котел 140 МВт і вище (200т/год і вище)	1,15	1,25
Паровий котел від 22 до 140 МВт (від 30 до 200 т/год)	1,15	1,25
Водогрійний котел	1,15	1,25

Таблиця Д.7

Ефективність первинних заходів η_I скорочення викиду NO_x [11]

Тип первинних заходів	Ефективність η_I
1	2
Малотоксичні пальники	0,20
Ступенева подача повітря	0,30
Подача третинного повітря	0,20
Рециркуляція димових газів	0,10
Трьохступенева подача повітря та палива	0,35
Малотоксичні пальники + ступенева подача повітря	0,45
Малотоксичні пальники + подача третинного повітря	0,40
Малотоксичні пальники + рециркуляція димових газів	0,30
Ступенева подача повітря + подача третинного повітря	0,45
Ступенева подача повітря + рециркуляція димових газів	0,40
Малотоксичні пальники + ступенева подача повітря + рециркуляція димових газів	0,50
Малотоксичні пальники + ступенева подача повітря + подача третинного повітря	0,60

ПОКАЗНИКИ ЕМІСІЇ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ

Таблиця Е.1

Показник емісії оксиду вуглецю k_{CO} , г/ГДж [11]

Показник	Тверде паливо	Мазут	Природний газ
1	2	3	4
Факельне спалювання	–	15	17
Котел з рідким шлаковидаленням	11,4	–	–
Котел з твердим шлаковидаленням	11,4	–	–
Спалювання в киплячому шарі	9,7	–	–
Спалювання в нерухомому шарі	121	–	–
Спалювання в камері згоряння ГТУ	–	15	15

Таблиця Е.2

Показник емісії вуглецю палива k_C , г/ГДж [11]

Паливо	Значення
1	2
Вугілля:	
– Антрацит	28160
– Пісне	26050
– Газове та довгополумневе	25180
– Буре	25630
Мазут	21100
Природний газ	15300

Таблиця Е.3

Показник емісії оксиду діазоту N_2O , г/ГДж [11]

Технологія і паливо	Значення
1	2
Вугілля (факельне спалювання)	1,4
Вугілля (киплячий шар)	56
Вугілля (нерухомий шар)	1,4
Мазут	0,6
Природний газ	0,1
Камера згоряння газової турбіни	2,5

Таблиця Е.4

Показник емісії метану CH_4 , г/ГДж [11]

Паливо	Значення
1	2
Вугілля	1,0
Мазут	3,0
Природний газ	1,0

Навчально-методичне видання

ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ СИСТЕМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

Методичні вказівки
до виконання розрахунково-графічної роботи для студентів
спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
за освітньо-професійною програмою
«Теплогазопостачання і вентиляція»

Укладачі: **ПРЕДУН** Костянтин Миронович
ДУДНІКОВ Олексій Андрійович
ПОЧКА Ольга Богданівна

Комп'ютерне верстання О.Б. Почка

Підписано до друку 09.11.2023 р. Зам. № 1190.
Формат 60x84 1/16. Папір офсетний. Друк – цифровий.
Наклад 100 прим. Ум. друк. арк. 4,9.
Друк ЦП «КОМПРИНТ». Свідоцтво ДК №4131 від 04.08.2011 р.
м. Київ, вул. Васильківська, 32
067-209-54-30, 097-533-18-07
email: komprint@ukr.net