

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

І. О. Ратушняк, М. М. Семенов

**"ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ
ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ"**

**Методичні вказівки
для студентів заочної форми навчання**

Рекомендовано Методичною радою НУК

Миколаїв 2007

Ратушняк І.О., Семенов М.М. Екологічні проблеми теплоенергетики: Методичні вказівки для студентів заочної форми навчання. – Миколаїв: НУК, 2007. – 68 с.

Кафедра суднових та стаціонарних енергетичних установок

Подано навчальну програму, рекомендації до вивчення дисципліни "Екологічні проблеми теплоенергетики", контрольні запитання для самоперевірки, зміст контрольних робіт та варіанти завдань; методичні вказівки до виконання контрольних робіт для студентів спеціальностей "Теплоенергетика" й "Екологія та охорона навколишнього середовища".

Матеріали можуть бути корисними для студентів споріднених спеціальностей при виконанні курсових і дипломних проектів, пов'язаних із енергетичними об'єктами, а також для самостійної роботи студентів денної форми навчання.

Рецензент д-р техн. наук, проф. С.С. Рижков

ВСТУП

Захист навколишнього середовища неможливий без глибокого засвоєння знань про основні фактори, що призводять до забруднення атмосфери при експлуатації теплоенергетичних установок, методи захисту повітряного басейну, шляхи зменшення твердих і газоподібних викидів до атмосфери, сучасні напрямки вдосконалення процесів спалювання палив, нові екологічно чисті виробництва провідних країн, напрямки управління якістю природного середовища.

Саме таку інформацію надає дисципліна "Екологічні проблеми теплоенергетики", яка ґрунтується на попередньому вивченні студентами таких дисциплін, як "Основи екології", "Паливо та паливopідготовка", "Топки та котельні установки ТЕС і промислових підприємств, парогенератори", "ТЕС та АЕС і установки", "Методи утилізації промислових та комунальних відходів". Вони сприяють засвоєнню теорії робочих процесів, принципів вибору і застосування теплоенергетичних установок (характеристики палив, топкових пристроїв, викидів, процеси згоряння палива у топках, існуючі та перспективні методи утилізації відходів).

Дисципліна "Екологічні проблеми теплоенергетики" відноситься до циклу професійно орієнтованих і забезпечує засвоєння студентами таких спеціальних дисциплін, як "Проектування промислових та комунальних теплоенергетичних установок", "Проектування систем і установок знешкодження промислових і комунальних відходів", "Проектування систем промислових та комунальних теплоенергетичних установок".

Метою вивчення дисципліни є формування систематизованих знань про екологічні проблеми паливно-енергетичного комплексу (ПЕК) України; обладнання, призначене для забезпечення захисту природного середовища від забруднень; регламентованих норм викидів шкідливих речовин під час експлуатації ПЕК, а також нормального функціонування енергетики відповідно до вимог міжнародних конвенцій та національних законів, стандартів і норм.

Після засвоєння дисципліни студент повинен:

знати основні джерела забруднення навколишнього середовища під час експлуатації установок ПЕК; вимоги міжнародних конвенцій та національного законодавства; принцип дії, основні способи, процеси, конструкції та проектні вимоги до устаткування, яке використовується у теплоенергетиці; екологічні характеристики обладнання для захисту навколишнього середовища; перспективні методи та способи попередження забруднення навколишнього середовища; організаційно-правові засади захисту повітряного басейну України;

уміти самостійно оцінити об'єм та рівень забруднення під час експлуатації теплоенергетичного устаткування ПЕК; підібрати та обґрунтувати вибір устаткування відповідно до характеристик викидів і вимог національного законодавства.

Більша частина теоретичних розділів дисципліни призначена для самостійного вивчення, складні для засвоєння теми виносяться на лекційні заняття в обсязі, передбаченим навчальним планом.

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Під час вивчення курсу "Екологічні проблеми теплоенергетики" студенти заочної форми навчання повинні:

- самостійно вивчити матеріал згідно з навчальною програмою курсу, користуючись рекомендованою основною та допоміжною літературою;

- засвоїти матеріал лекційних та практичних занять;

- самостійно контролювати засвоєння матеріалу, відповідаючи на запитання для самоперевірки;

- виконати контрольну роботу та вирішити практичні завдання; скласти залік із курсу.

Курс доцільно засвоювати системно з одночасним складанням опорного конспекту опрацьованого матеріалу (перевагу слід надавати схемам, діаграмам тощо); переходити до наступної теми після закріплення знань з попередньої. Запитання, що виникають під час засвоєння матеріалу, доцільно фіксувати та знаходити на них відповіді за допомогою викладача на консультаціях.

Метою оглядових лекцій, які читаються протягом семестру, є висвітлення загального змісту окремих тем і найбільш важливих та проблемних положень курсу для наступного їх практичного застосування, а також питань, недостатньо повно відображених у наявних підручниках та посібниках.

До складання заліку, після опрацювання матеріалу відповідних розділів, студенту необхідно виконати контрольну роботу.

Для студентів спеціальності "Теплоенергетика" навчальним планом передбачено вивчення дисципліни "Екологічні проблеми теплоенергетики" протягом одного семестру, виконання контрольної роботи та залік.

ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ДИСЦИПЛІНИ "ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ"

Найменування розділів та тем	Розподіл навчального часу			
	Всього	Лекції	Практичні заняття	Самостійна робота студента
I. Енергетика та її вплив на навколишнє середовище	17	1	—	16
Управління якістю навколишнього середовища	9	1	—	8
Природоохоронне законодавство України та міжнародні конвенції	8	—	—	8
II. Вплив ПЕК на повітряний басейн	48	4	1	43
Золотовловлювання на ТЕС	25	2	1	22
Зменшення викидів оксидів сірки та азоту на ТЕС	23	2	—	21
III. Розвіювання викидів у атмосфері	16	1	1	14
<i>Всього</i>	81	6	2	73

ЗМІСТ ДИСЦИПЛІНИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ЇЇ ВИВЧЕННЯ

Зміст дисципліни

Енергетика та її вплив на навколишнє середовище. Світова енергетика та її вплив на навколишнє середовище. Енергетика України і проблеми екології. Причини утворення і характеристика відходів теплоенергетики. Види та масштаби шкідливих викидів ПЕК. Принципи управління якістю навколишнього середовища. Теоретичні основи нормування забруднення.

Література: [2, с. 22–34; 3, с. 79–130; 4, с. 67–74; 436–448; 7, с. 3–5; 11, с. 131–140; 13, с. 3–4, 403–414; 14, с. 40–49, 144–158].

Природоохоронне законодавство. Платне природокористування в Україні. Платежі за користування та забруднення. Конвенції та Протоколи. Державні норми допустимого впливу на об'єкти навколишнього середовища. Гранична допустима концентрація

атмосфери, водних об'єктів. Розрахунок витрати повітря, кількості утворених газів, що викидаються до атмосфери. Розрахунок викидів основних забруднюючих речовин для котельних установок, які працюють на різних паливах.

Література: [4, с. 456–490; 13, с. 457–474; 14, с. 204–230].

Вплив ПЕК на повітряний басейн. Золовловлювання на ТЕС. Токсичні речовини у паливі та димових газах. Перетворення шкідливих викидів ТЕС у атмосфері повітря. Загальна характеристика золи та основи теорії золовловлювання. Типи золовловлювачів та їх характеристика. Основні та спеціальні типи золовловлювачів. Вибір типу золовловлювача. Сухі інерційні золовловлювачі. Методика розрахунку сухих інерційних золовловлювачів. Фільтри. Електрофільтри. Вплив електричних параметрів та геометричних співвідношень на вловлювання золи в електрофільтрах. Мокрі золовловлювачі. Методика розрахунку скрубера Вентурі та мокрих золовловлювачів. Вловлювання золи на мазутних ТЕС. Ефективність систем золовловлювання. Використання золи парогенераторів ТЕС. Системи збирання, транспортування та зберігання золи, призначеної для використання.

Література: [1, с. 5–29, 47–67, 92–146, 150–193, 197–235, 257–267, 278–283; 2, с. 9–22, 34–67, 156–164; 3, с. 117–147, 155–180; 4, с. 109–123; 5, с. 4–11; 6, с. 4–19, 15–22; 7, с. 4–52; 12, с. 15–28].

Зменшення викидів оксидів сірки і азоту на ТЕС. Умови утворення оксидів сірки в топках. Методи придушення процесів утворення оксидів сірки. Методи і технологічні схеми очищення димових газів від оксидів сірки. Очищення палива від сірки. Умови утворення оксидів азоту в топках. Методи придушення процесів утворення оксидів азоту. Методи та технологічні схеми очищення димових газів від оксидів азоту. Сумісна дія оксидів сірки й азоту на навколишнє середовище.

Література: [2, с. 68–86; 3, с. 155–183, 236–249; 11, с. 138–146, 151–156].

Розвіювання викидів у атмосфері. Загальна характеристика розвіювання викидів ПЕК. Димарі теплових електростанцій. Задачі розвіювання залишкових забруднень із димарів ТЕС. Характер розповсюдження димової хмари. Методика розрахунку розвіювання забруднень в атмосфері. Розподіл концентрацій забруднень навколо ТЕС. Типи димарів. Багатоствольні димарі, їх кон-

струкція та розрахунок. Вибір типів та кількості димарів на ТЕЦ. Методи визначення концентрації забруднень в атмосфері.

Література: [1, с. 253–256, 283–286; 2, с. 93–102].

Рекомендації до вивчення дисципліни

Енергетика та її вплив на навколишнє середовище. При вивченні розділу потрібно звернути особливу увагу на основні фактори шкідливого впливу енергетичного виробництва та засвоїти його якісну та кількісну сторону для різних складових паливно-енергетичного комплексу, як світового, так і в Україні, від видобування палив до транспортування перетворених видів енергії. Бажано розглянути особливості технологічних процесів ТЕС і АЕС, що мають єдиний теплосиловий цикл виробництва енергії та багато спільного у впливі на навколишнє середовище, та причини створення і характеристики відходів теплоенергетики. Необхідно розуміти особливості технологічного процесу виробництва електроенергії за допомогою гідравлічних турбін, оскільки його реалізація пов'язана зі специфічними та досить великомасштабними змінами у природному середовищі територій, що прилягають. Доцільно звернути увагу на види та масштаби шкідливих викидів ПЕК, особливо в Україні.

З урахуванням двох основних методологічних підходів до вирішення проблеми охорони атмосфери від забруднення необхідно розуміти механізм, принципи управління якістю навколишнього середовища на основі нормування та раціональні шляхи зменшення впливу енергетики на біосферу. Необхідно знати, що гранично допустимі рівні фактично є умовними орієнтирами обсягів викидів, які не повинні шкідливо впливати на людський організм. Потрібно володіти інформацією про державні норми допустимого впливу на об'єкти навколишнього середовища (атмосфери, водного середовища, радіаційної безпеки, шуму, електромагнітного впливу), а також про теоретичні основи нормування антропогенного навантаження різних країн, у тому числі й України, алгоритм вибору природоохоронної стратегії та порядок реалізації природоохоронних заходів. Необхідно чітко розуміти особливості платного природокористування в Україні, знати рівні платежів за користування надрами та забруднення навколишнього середовища об'єктами теплоенергетики, а також досконало володіти методиками роз-

рахунку витрат повітря, кількості утворених газів, які викидаються до атмосфери, та викидів основних забруднюючих речовин для котельних установок, що працюють на різних паливах.

Вплив ПЕК на повітряний басейн. Розглядаючи вплив ПЕК на повітряний басейн України, необхідно чітко розуміти причини актуальності проблеми зменшення викидів золи на ТЕС до атмосфери та засвоїти основний природоохоронний принцип: спочатку використовувати всі наявні технічні засоби зменшення маси викидів, а потім за рахунок висоти димової труби розсіювати не вловлені частки на великій території. Варто звернути увагу на значну залежність ефективності пристроїв золовловлення від фізико-технічних властивостей золи (питома маса, дисперсний склад, електричний опір, злипання) та димових газів.

Необхідно отримати чітке уявлення про вплив таких факторів, як вид палива і спосіб його спалювання, тип та потужність котла, можливість компонування, необхідний рівень очищення газів для вибору типу золовловлювача. Зважаючи на це, необхідно чітко розуміти конструктивні та експлуатаційні особливості золовловлювачів сухих інерційних та мокрого типу, електрофільтрів, тканинних або рукавних фільтрів і комбінованих золовловлювачів, знати їх переваги та недоліки, особливості очищення і регенерації, а також досконало володіти методиками розрахунку сухих інерційних золовловлювачів, скрубера Вентурі та мокрих золовловлювачів.

Потрібно знати про особливості регламентації золовловлювання різних країн і можливість корекції рівня ефективності золовловлення від залишкової концентрації твердих часток у димових газах, режимів експлуатації котельного устаткування та економічної доцільності золовловлювання. Слід звернути увагу на світовий досвід використання летючої золи та шлаків для виробництва будівельних матеріалів, спорудження доріг, проведення інженерних робіт та удобрення ґрунтів. Бажано розглянути особливості схем систем збирання, транспортування та зберігання золи, призначеної для подальшого використання. Потрібно знати про заходи зменшення радіоактивного впливу на навколишнє середовище твердих відходів на АЕС.

Однією з задач у теплоенергетиці є зменшення викидів оксидів сірки й азоту на ТЕС, тому треба мати уявлення про умови їхнього утворення у топках та методи придушення цих процесів.

Необхідно чітко розуміти, що сучасна наука і техніка досі не

знайшли економічно виправданих рішень скорочення викидів сірчистого ангідриду, і знати основні напрямки вирішення цієї проблеми, наявні методи та технологічні схеми очищення палива від сірки та димових газів від оксидів сірки. Слід звернути увагу на світовий та національний досвід зменшення викидів азоту на ТЕС – режимно-конструктивні заходи, методи та технологічні схеми очищення димових газів від оксидів азоту. Зважаючи на значну долю в енергетиці України АЕС, необхідно знати схеми обробки і видалення газоподібних відходів АЕС з реакторами типу ВВЕР і РБМК.

Розвіювання викидів у атмосфері. При вивченні розділу потрібно засвоїти, що встановлення димових труб вирішує лише локальну санітарно-гігієнічну задачу забезпечення допустимих концентрацій шкідливих викидів у приземному шарі атмосфери. Слід звернути увагу на ті функції, що виконують димові труби, і, відповідно, на необхідне при цьому устаткування. Бажано розглянути особливості розвіювання викидів ПЕК, звернути увагу на характер розповсюдження димової хмари. Потрібно отримати чітке уявлення про існуючі типи димових труб, їх конструктивні особливості, характерні типові розміри та механізм захисту від корозії.

Необхідно досконало володіти методикою розрахунку розвіювання забруднень у атмосфері; мати уявлення про розподіл концентрацій забруднень навколо ТЕС та методи їх визначення у атмосфері.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ З ДИСЦИПЛІНИ

Енергетика та її вплив на навколишнє середовище

1. З якою метою використовується і чому дорівнює 1 т умовного палива?
2. У чому виявляється забруднення ТЕС навколишнього середовища?
3. У чому виявляється забруднення АЕС навколишнього середовища?
4. У чому виявляється забруднення ГЕС навколишнього середовища?
5. У чому полягає проблема утилізації відходів ПЕК?
6. Які основні причини тяжкого екологічного стану в Україні?

7. Охарактеризуйте райони України з кризовим екологічним станом.

8. Визначте проблеми використання українського вугілля.

9. Основні задачі формування природоохоронної політики на національному рівні.

10. Основні задачі формування природоохоронної політики на регіональному рівні.

11. Основні задачі формування природоохоронної політики на місцевому рівні.

12. Порівняйте загальні викиди забруднюючих речовин у атмосферу підприємствами теплоенергетики України та Європейського Союзу.

13. До яких міжнародних конвенцій та угод приєдналася Україна?

14. Обґрунтуйте доцільність використання різних сортів палива.

15. Проаналізуйте сучасний стан забруднення навколишнього середовища в Україні твердими частинками.

16. Проаналізуйте існуючі проекти екологічно чистих ТЕС на вугіллі.

17. Які існують методологічні підходи до вирішення проблеми охорони навколишнього середовища від забруднення?

18. Наведіть GDK_{mr} і GDK_{cd} основних шкідливих речовин.

19. Що таке ефект сумачії?

20. Який критерій безпеки при гігієнічному нормуванні GDK ?

21. Порівняйте підходи до нормування викидів у різних країнах.

22. Як нормуються теплові викиди ТЕС і АЕС?

23. Якими нормами лімітується хімічне забруднення водних об'єктів?

24. У чому різниця між GDK рибогосподарського і санітарно-побутового видів водокористування?

25. Як встановлюються норми електромагнітного впливу?

26. Охарактеризуйте основні принципи встановлення норм радіаційної безпеки.

27. Основні джерела шумового забруднення атмосфери.

28. Як встановлюються норми допустимого шуму?

29. Як і коли було закладено в Україні основи концепції платного природокористування?

30. Які основні частини включає в себе система екологічних платежів?

31. Які основні функції виконують ліміти та ліцензії?
32. Які основні функції виконує система екологічних платежів?
33. Як регулюються платежі за користування водними ресурсами?
34. Які основні функції виконує система платежів за порушення законів про природне середовище?
35. Як встановлюються і регулюються платежі за забруднення атмосфери?
36. Як встановлюються і регулюються платежі за забруднення водних об'єктів?
37. Як встановлюються і регулюються платежі за розміщення відходів?
38. Які важливі риси складання та здійснення природоохоронних програм (із досвіду розвинутих країн із ринковою економікою)?
39. Які основні напрямки слід передбачити в економічному механізмі природоохоронної діяльності?
40. Сформулюйте деякі напрямки стратегії розвитку та здійснення екологічних програм та проектів.
41. Яка основна мета програми "Чисті й ефективні енерготехнології"?
42. Як створювалася і реалізовувалася концепція платного природокористування в Україні?
43. Які дві основні частини включає в себе система платежів за забруднення і використання природних ресурсів? Охарактеризуйте їх.
44. Які основні функції виконує система екологічних платежів?
45. На базі яких ключових елементів формується система зборів за користування природними ресурсами?
46. Охарактеризуйте нормативи плати за використання прісних водних ресурсів із поверхневих водних об'єктів та підземних вод у теплоенергетиці.
47. Які основні елементи містить система платежів (зборів) за порушення законів про природне середовище?
48. Як розрахувати величину зборів за забруднення водних об'єктів?
49. Як розрахувати величину зборів за розміщення відходів?
50. У чому проявляється негативний вплив ПАР?
51. Які існують шляхи створення ТЕС, що не забруднюють природні водойми?
52. Які води відносяться до стічних у теплоенергетиці?

53. Які існують чотири групи методів очищення стічних вод? Визначте їх особливості.

54. Які бувають рівні екологічного захисту водойм від соляних скидань?

55. Які заходи достатні для кожного з рівнів екологічного захисту водойм від соляних скидань?

56. Поясніть причини забруднення води на ТЕС нафтопродуктами.

57. Які методи використовуються для очищення стічних вод від нафтопродуктів?

58. Наведіть схему очищення на ТЕС стічних вод від нафтопродуктів.

59. Поясніть причину утворення слабоактивних вод на АЕС.

60. Які методи використовуються для очищення стічних вод від радіоактивних домішок?

61. Наведіть схему очищення на АЕС стічних вод від радіоактивних домішок.

62. Охарактеризуйте джерела та види електромагнітного впливу на навколишнє середовище.

63. Поясніть причини утворення стічних вод у теплоенергетиці?

64. Які стічні води мають місце на вугільних та газомазутних ТЕС?

65. Як впливають на флору і фауну водойм нафтопродукти?

66. У чому виявляється теплове забруднення природних водойм?

67. Чи шкідливі для людини стічні води ТЕС?

68. Як утворюються стічні води з установок підготовки води? Основні шляхи їх знешкодження.

69. З яких елементів складається система очищення води від нафтопродуктів?

70. Яким чином можна вловити цінні компоненти з вод обмивання мазутних ТЕС?

71. У чому полягають відмінності очищення і використання стічних вод хімічних промивок на газових, мазутних і вугільних ТЕС?

72. З якою метою застосовуються біохімічні методи очищення стічних вод?

73. Як орієнтовно визначити об'єм стічної води при хімічному промиванні обладнання?

74. Які методи знешкодження застосовують відносно стічних вод систем ГЗУ (гідрозоловловлювання)?

75. Як здійснити осадження миш'яку і фтору?

76. Яку роль відіграють сорбційні властивості золи вугілля при очищенні стічних вод ТЕС?

77. Перерахуйте шляхи вдосконалення водопідготовки ТЕС для зменшення кількості стічних вод.

78. Як працює схема безперервного іонування фільтрів знесолення води?

79. Поясніть принципи роботи електрокоагулятора.

80. Які методи водоочищення використовуються для зменшення скидання нафтопродуктів?

81. Поясніть, як оцінити збитки від скидання забрудненої води.

82. Чи можливе створення безстічних ТЕС?

Вплив ПЕК на повітряний басейн. Розвіювання викидів у атмосфері

1. Як при нормуванні домішок золи у приземному шарі атмосфери враховується хімічний і дисперсний склад її часток?

2. Який питомий вклад частинок різної дисперсності Сі до сумарної концентрації золи на рівні дихання людини?

3. Які основні проблеми нормування викидів золи?

4. Від чого залежить ефективність роботи пристроїв вловлювання золи?

5. Які основні фізико-хімічні властивості золи, яку вловлюють?

6. Які фактори впливають на вибір золовловлювача ?

7. Проаналізуйте структуру пристроїв золовловлення, що використовуються на ТЕС.

8. Дайте характеристику батарейних циклонів.

9. У чому полягають основні переваги сухого інерційного золоочищення?

10. Поясніть принцип роботи відцентрових скрубєрів.

11. Які основні два типи мокрих золовловлювачів застосовуються у промисловості?

12. Наведіть переваги і недоліки мокрих золовловлювачів.

13. На чому базується принцип роботи електрофільтрів?

14. Охарактеризуйте найбільш поширені типи сухих електрофільтрів.

15. Охарактеризуйте найбільш поширені типи мокрих електрофільтрів.

16. Які фактори впливають на ефективність роботи електрофільтрів?

17. Наведіть переваги і недоліки електрофільтрів.

18. Які основні матеріали фільтрів для очищення димових газів?

19. Які існують способи регенерації заплених тканин?

20. Як визначити сумарний рівень очищення у комбінованих золовловлювачах?

21. Особливості використання двоступеневої схеми очищення.

22. Які основні вимоги до нормування ефективності золоочищення?

23. Які основні причини недоцільності жорсткого нормування ефективності золоочищення?

24. Як може впливати коефіцієнт надлишку повітря на нормування ефективності золоочищення?

25. Як може впливати режим роботи ТЕС на нормування ефективності золоочищення?

26. Поясніть принцип забезпечення однакової концентрації у повітрі золи від потужності ТЕС та приведеної зольності палива.

27. Як оцінити кількість золи, яка виноситься з димовими газами?

28. Як враховується механічний недопал?

29. Як залежить доля твердих частинок, які виносяться з топки, від типу топки?

30. Порівняйте обсяги викидів SO_2 і NO_x кількох країн Європи.

31. У чому проявляється негативний вплив оксидів азоту і сірки?

32. Як впливає на зниження NO_x наявність рециркулюючих газів?

33. Як впливає на зниження NO_x інтенсифікація перемішування палива з повітрям? Проаналізуйте наявні схеми.

34. Методи зменшення викидів NO_x на установках, які працюють на мазуті та газі.

35. Поясніть механізм вибіркового некаталітичного відновлення (ВНКВ), як його застосовувати?

36. Поясніть механізм вибіркового каталітичного відновлення (ВКВ), як його застосовувати?

37. Як оцінити викиди оксидів сірки?

38. Від чого залежить зв'язування сірчаного ангідриду летючою золою?

39. За якими залежностями можна оцінити кількісні значення викидів оксидів азоту?

40. Поясніть особливості розрахунку викидів оксидів азоту для пилувугільних котлів?

41. Поясніть особливості розрахунку викидів оксидів азоту при спалюванні газу і мазуту?

42. Поясніть особливості розрахунку викидів оксидів азоту при спалюванні вугілля з газом або мазутом?

43. Як оцінити кількість пентаоксиду ванадію, який виноситься з димовими газами?

44. Як оцінити кількість оксидів вуглецю, що виноситься з димовими газами?

45. Оцініть об'єми виходу та промислового використання летючої золи і шлаків у країнах Європейського Союзу.

46. Охарактеризуйте системи гідрозоловидалення, які застосовуються на ТЕС.

47. Як впливає тип системи золовловлювання на можливості використання золи?

48. Поясніть принцип роботи пневмогідравлічної системи золовидалення.

49. Поясніть принцип роботи пневмотранспорту летючої золи з резервною системою золовидалення.

50. Чи доцільно використовувати у народному господарстві золу бурого вугілля?

51. Чи використовується зола для виробництва штучних пористих заповнень?

52. Які методи застосовуються для зниження радіоактивності твердих відходів?

53. Поясніть особливості технологічного процесу спалювання вугілля у топках із псевдозрідженим шаром.

54. Які застосовуються технологічні процеси для видалення сірки з димових газів?

55. Охарактеризуйте методи мокрого очищення відпрацьованих газів ТЕС від оксидів сірки.

56. Які процеси відбуваються при типовій схемі вапняного процесу очищення відпрацьованих газів?

57. Які особливості очищення димових газів на ТЕС методом промивання у вапняному молоці?

58. Які Ви знаєте регенеративні процеси очищення димових газів на ТЕС?

59. У чому полягають особливості технології сухого десульфуризування димових газів?

60. Які існують принципово можливі шляхи видалення оксидів азоту з димових газів ТЕС?

61. Охарактеризуйте основні джерела газоподібних відходів на АЕС.

62. Яким чином зменшують активність газів, що викидаються з АЕС?

63. У чому полягає суттєва відмінність між реакторами типу РБМК та ВВЕР з погляду утворення газоподібних відходів?

64. Поясніть схему обробки та видалення газоподібних відходів АЕС з реактором типу ВВЕР.

65. Які властивості золи впливають на її вловлювання у мокрих, інерційних золовловлювачах та електрофільтрах?

66. Порівняйте, яку ефективність золовловлювання можна досягнути у золовловлювачах різних типів.

67. Поясніть принцип роботи батарейного циклона.

68. Які речовини, крім золи, вловлюються у мокрому золовловлювачі?

69. Які проблеми виникають під час роботи зворотної системи золовидалення?

70. У чому полягають особливості конструкції електрофільтрів.

71. На чому базується принцип вловлювання золи в електрофільтрах?

72. Поясніть, що таке зворотна корона.

73. Охарактеризуйте поняття "високоомна зола".

74. Які методи дозволяють підвищити ефективність вловлювання високоомної золи?

75. Які особливості мазутної золи?

76. Яким чином забезпечити надійну роботу зворотних схем ГЗВ?

77. Які завдання вирішує система автоматизованого контролю атмосфери у районі АЕС?

78. З яких основних компонентів складається система автоматизованого контролю атмосфери у районі АЕС?

79. Який основний метод очищення вентиляційного повітря від радіоактивних аерозолів застосовується на АЕС?

80. Які властивості фільтруючих матеріалів фільтрів від радіоактивних аерозолів?

81. У чому полягають основні знакові особливості спецводоочищення АЕС?

82. Охарактеризуйте основні способи перероблення золи ТЕС.

83. У чому полягають принципові відмінності циклічних та нециклічних методів очищення димових газів від сірчистого ангідриду?

84. Які продукти утворюються при вапняковому методі очищення димових газів від SO_2 ?

85. Поясніть, до якого рівня понижується температура відпрацьованих газів при застосуванні мокрих методів очищення? Які проблеми виникають при цьому?

86. Що являє собою мокро-сухий метод очищення димових газів від SO_2 ?

87. Які процеси відбуваються в апаратах при магнезитовій та аміачній системах очищення димових газів від SO_2 ?

88. Які шкідливі речовини вловлюються при застосуванні озонного методу очищення димових газів? Як це відбувається?

89. Охарактеризуйте основні техніко-економічні відмінності різних методів очищення димових газів від SO_2 ?

90. Яким чином можна понизити вміст сірки у твердому паливі?

91. Поясніть механізм утворення оксидів азоту при спалюванні органічного палива.

92. Як забезпечити максимально можливе зниження викидів бенз[а]пірену?

93. З яких видів опору складається гідравлічний опір скрубєрів Вентурі?

94. Які фактори найбільше впливають на ефективність вловлювання пилу в скрубєрах Вентурі?

95. Як підрозділяються за конфігурацією поперечного перерізу труби Вентурі?

96. У чому полягають переваги батарейного і групового компонування труб Вентурі? Які способи регулювання отримали найбільше поширення?

97. Як підрозділяються за гідродинамічними характеристиками скрубєри Вентурі?

98. Які можна виділити типи апаратів Вентурі у залежності від способу підведення рідини зрошення?

99. Поясніть принцип роботи скрубєра Вентурі з периферійною подачею рідини до труби-розпилювача?

100. У чому полягають особливості роботи безфорсункових скрубєрів Вентурі?

101. Охарактеризуйте конструктивні та режимні особливості газопромивачів типу КМП.

102. Охарактеризуйте конструктивні та режимні особливості газопромивачів типу МС-ВТИ.

103. Поясніть переваги та недоліки ежекторних скрубєрів.

104. На які основні види за принципом дії підрозділяються форсунки скрубєрів?

105. Охарактеризуйте механічні форсунки (за характером заповнення та рівномірністю факелу).

106. З якою метою застосовують евольвентні форсунки?

107. У чому полягають переваги тангенціальних форсунок?

108. Який алгоритм розрахунку форсунки з тангенціальним підводом рідини?

109. Який алгоритм розрахунку форсунки з плоскою вкладкою та периферійними гвинтовими каналами прямокутного перерізу?

110. Який алгоритм розрахунку плоскофакельної форсунки?

111. Охарактеризуйте форсунки з пневматичним розпилюванням рідини.

112. У чому полягає відмінність зрошувачів від форсунок? Які типи зрошувачів Ви знаєте?

113. Які механізми застосовуються для вловлювання туману в мокрих пиловловлювачах?

114. Охарактеризуйте принцип дії та ефективність інерційних вловлювачів крапель.

115. Охарактеризуйте принцип дії та ефективність відцентрових вловлювачів крапель.

116. Охарактеризуйте конструктивні та режимні особливості циклонів ЦН.

117. Охарактеризуйте конструктивні та режимні особливості циклонів ВЦННІОТ.

118. Охарактеризуйте конструктивні та режимні особливості циклонів ОЭКДМ ("Клайпеда").

119. Який алгоритм розрахунку циклонів?

120. Які особливості конструкції залізобетонних труб?

121. Які труби знайшли застосування на ТЕС із різнотипним енергетичним обладнанням?

122. Який алгоритм розрахунку мінімальної висоти труб?

СКЛАД КОНТРОЛЬНИХ РОБІТ ТА ВАРІАНТИ ЗАВДАНЬ

Після вивчення теоретичного матеріалу дисципліни студенти повинні самостійно виконати контрольну роботу, яка має за мету показати ступінь розуміння ними причин утворення і характеристики відходів теплоенергетики, видів і масштабів шкідливих викидів ПЕК, принципи управління якістю навколишнього середовища, методи та технологічні схеми очищення димових газів і у той же час отримати практичні навички визначення викидів основних забруднюючих речовин ПЕК, характеристик і ефективності установок вловлювання золи та розвіювання викидів.

Контрольна робота складається з двох частин.

У першій частині студент дає відповіді на теоретичні питання (варіанти завдання необхідно вибрати з табл. 1, у якій номери пи-

Таблиця 1. Варіанти контрольних робіт (перша частина)

Порядковий номер у групі	Номер питання		Порядковий номер у групі	Номер питання	
	Розділ 1	Розділи 2 і 3		Розділ 1	Розділи 2 і 3
01	6, 33, 60	1, 31, 62, 93	16	21, 48, 75	16, 46, 77, 108
02	7, 34, 61	2, 32, 63, 94	17	22, 49, 76	17, 47, 78, 109
03	8, 35, 62	3, 33, 64, 95	18	23, 50, 77	18, 48, 79, 110
04	9, 36, 63	4, 34, 65, 96	19	24, 51, 78	19, 49, 80, 111
05	10, 37, 64	5, 35, 66, 97	20	25, 52, 79	20, 50, 81, 112
06	1, 28, 55	6, 36, 67, 98	21	16, 43, 70	21, 51, 82, 113
07	2, 29, 56	7, 37, 68, 99	22	17, 44, 71	22, 52, 83, 114
08	3, 30, 57	8, 38, 69, 100	23	18, 45, 72	23, 53, 84, 115
09	4, 31, 58	9, 39, 70, 101	24	19, 46, 73	24, 54, 85, 116
10	5, 32, 59	10, 40, 71, 102	25	20, 47, 74	25, 55, 86, 117
11	11, 38, 65	11, 41, 72, 103	26	26, 53, 80	26, 56, 87, 118
12	12, 39, 66	12, 42, 73, 104	27	27, 54, 81	27, 57, 88, 119
13	13, 40, 67	13, 43, 74, 105	28	1, 40, 82	28, 58, 89, 120
14	14, 41, 68	14, 44, 75, 106	29	2, 42, 60	29, 59, 90, 121
15	15, 42, 69	15, 45, 76, 107	30	3, 45, 65	30, 60, 91, 122

тань розд. 1, 2 і 3 відповідають переліку контрольних питань із дисципліни). Відповіді на контрольні запитання мають бути повними (доцільно користуватися рекомендованою у даних методичних вказівках основною та допоміжною літературою) і не повинні повністю дублювати текст підручника.

У другій частині студент виконує наступне:

1. Визначає обсяги викидів забруднюючих речовин для заданого котла, надає їм вигляду, зручного для подальших розрахунків, та обчислює діаметр устя і висоту труби, визначає максимальну приземну концентрацію кожної зі шкідливих речовин. Варіанти котельних установок, які відповідають порядковому номеру студента у групі, необхідно вибрати з табл. 2, а характеристики палива, на якому працює котельна установка, з табл. 1Д. Коефіцієнти для визначення оксидів азоту та значення повітряних оксидів азоту $K_{\text{NO}_2}^{\text{II}}$ наведено у табл. 2Д та 3Д. Коефіцієнти очищення пристроїв золовловлювання та значення коефіцієнтів β_1 та β_2 наводяться у табл. 4Д–6Д. Розрахункові характеристики шахтних та камерних топків наведено у табл. 7Д та 8Д. Нормативні значення гранично допустимої концентрації шкідливих речовин у атмосфері для населених пунктів (табл. 9Д) застосовуються при перевірці розрахованої мінімальної висоти димових труб.

Для прикладу у табл. 10Д та 11Д наведено результати розрахунку питомих викидів і концентрації оксидів азоту деяких котельних установок при спалюванні твердого палива, а також газу і мазуту при температурі повітря нижче 500 К.

2. Розраховує коефіцієнт очищення газів для обраного циклону, визначає його основні геометричні характеристики та виконує ескіз обчисленого циклону (тип циклону, витрати газів та дисперсний склад пилу, які відповідають порядковому номеру студента у групі, необхідно вибрати з табл. 3; значення нормальної функції розподілу наведено у табл. 12Д).

Контрольна робота виконується в окремому зошиті або на аркушах паперу формату А4. Текстова та графічна частини повинні бути виконані з наведенням необхідних проміжних розрахунків та значень і відповідно до вимог оформлення технічної документації.

Таблиця 2. Вихідні дані для розрахункових завдань № 1 та 2

Порядковий номер у групі	Кількість котлів	Марка котла		Продуктивність, т/год	Параметри гострого пару		Паливо
		Маркіровка заводу	Маркіровка ДСТУ		$T_{\text{пс}}, ^\circ\text{C}$	$p, \text{МПа}$	
1	2	ПК-20	Е120-100	120	510	10,0	Фрезерний торф
2	1	БКЗ-160-100ГМ	Е160-100М	160	540	10,0	Кам'яне вугілля
3	2	БКЗ-210-140Ф	Е210-140	210	570	14,0	Фрезерний торф
4	2	ТП-16	Е220-100К	220	540	14,0	Кам'яне вугілля
5	3	БКЗ-220-100Ф	Е220-100	220	540	10,0	Буре вугілля
6	3	ПК-14-2	Е220-100	220	540	10,0	Фрезерний торф
7	1	ПК-14	Е230-100	230	510	10,0	Кузняцький ІСС
8	1	67-СП	Пп-230-100	230	510	10,0	Підмосковне вугілля
9	3	ПК-38	Пп.-270-140	270	570	14,0	Артемівське вугілля
10	3	ПК-24	Пп.- 270-140	270	570	14,0	Донецьке вугілля Г
11	3	БКЗ-320-140-1	Е320-140	320	570	14,0	Кузняцьке Г
12	1	ТП-82	Е420-140	420	570	14,0	Донецьке Д
13	1	ТП-86	Е420-140Ж	420	570	14,0	Пісне вугілля
14	1	ТП - 92	Еп500-140	500	570	14,0	Сучанське
15	2	ПК-33-1	Пп620-140	620	570	14,0	Підмосковне
16	2	ПК-40	Пп640-140	640	570	14,0	Кузняцьке
17	2	ПК-37	Пп700-315	710	655	31,5	Підмосковне
18	3	ПК - 39	Пп950-250	950	585	25,5	Веселовське
19	3	ТПП-210	Пп950-255Ж	950	565	25,5	Донецьке Д
20	3	ТПП-312	Пп950-255Ж	950	565	25,5	Кузняцьке Г

Порядковий номер у групі	Температура, °С		Вид топки	ККД			
	газів	живильної води					
21	1	ПІ-57	Пп1650-255	1630	545	25,5	Артемівське вугілля
22	1	ПІ-49	Пп160-250Ж	1600	565	25,5	Харановське
23	4	ПК-20	Е120-100	120	510	10,0	Фрезерний торф
24	5	БКЗ-160-100ГМ	Е160-100М	160	540	10,0	Кам'яне вугілля
25	3	БКЗ-210-140Ф	Е210-140	210	570	14,0	Фрезерний торф
26	4	ТП-16	Е220-100К	220	540	14,0	Кам'яне вугілля
27	1	БКЗ-220-100Ф	Е220-100	220	540	10,0	Буре вугілля
28	2	ПК-14-2	Е220-100	220	540	10,0	Фрезерний торф
29	2	ПК-14	Е230-100	230	510	10,0	Кузнєцький ІСС
30	2	67-СП	ПІ-230-100	230	510	10,0	Підмосковне вугілля
1	150	215	Камерна		82		
2	133	215	Шарова з нерухомою колосниковою решіткою		82,3		
3	128	230	Камерна		82,6		
4	137	215	Шарова з цільною решіткою зворотного ходу		82,9		
5	133	215	Камерна		83,1		
6	161	215	Шахтна		83,4		
7	156	215	Шарова з нерухомою колосниковою решіткою		83,7		
8	169	215	Шарова з цільною решіткою зворотного ходу		84		
9	140	233	Шарова з нерухомою колосниковою решіткою		84,3		
10	122	230	Шарова з цільною решіткою зворотного ходу		84,6		
11	135	230	Камерна		84,9		

Порядковий номер у групі	Температура, °С		Вид топки	ККД
	газів	живильної води		
12	157	230	Шарова з нерухомою колосниковою решіткою	85,2
13	154	230	Камерна	85,5
14	140	230	Шарова з цупною решіткою зворотного ходу	85,8
15	150	242	Шарова з нерухомою колосниковою решіткою	86,1
16	138	242	Камерна	86,4
17	119	275	Шарова з цупною решіткою зворотного ходу	86,7
18	130	260	Шарова з нерухомою колосниковою решіткою	87
19	154	260	Шарова з цупною решіткою зворотного ходу	87,3
20	161	260	Шарова з нерухомою колосниковою решіткою	87,6
21	125	255	Шарова з цупною решіткою зворотного ходу	87,9
22	123	270	Шарова з нерухомою колосниковою решіткою	88,2
23	150	215	Камерна	82
24	133	215	Шарова з нерухомою колосниковою решіткою	82,3
25	128	230	Камерна	82,6
26	137	215	Шарова з цупною решіткою зворотного ходу	82,9
27	133	215	Камерна	83,1
28	161	215	Шахтна	83,4
29	156	215	Шарова з нерухомою колосниковою решіткою	83,7
30	169	215	Шарова з цупною решіткою зворотного ходу	84

Таблиця 3. Вихідні дані для розрахункового завдання № 3

Порядковий номер у групі	Тип циклона	$V_{г^3}$ /год	Дисперсний склад пилу $d_m / \lg \sigma_{\chi}$	Порядковий номер у групі	Тип циклона	$V_{г^3}$ /год	Дисперсний склад пилу $d_m / \lg \sigma_{\chi}$
01	ЦН-11	8000	10/0,35	16	ЦН-24	12000	15/0,35
02	ЦН-15	9000	15/0,4	17	ЦМС-27	7000	20/0,4
03	ЦН-15У	10000	20/0,5	18	СДК-ЦН-33	11000	25/0,5
04	ЦН-24	11000	10/0,35	19	ЦН-11	10000	20/0,45
05	ЦМС-27	8000	15/0,4	20	ЦН-15	8000	10/0,35
06	СДК-ЦН-33	9000	20/0,5	21	ЦН-15У	12000	10/0,35
07	СК-ЦН-34	10000	10/0,35	22	ЦН-24	10000	20/0,5
08	СК-ЦН-34М	11000	20/0,45	23	ЦМС-27	9000	10/0,35
09	ВЦНИИОТ	12000	30/0,5	24	СДК-ЦН-33	10000	10/0,35
10	СИОТ	13000	10/0,35	25	СК-ЦН-34	12000	30/0,5
11	ОЭКДМ "Клайпеда"	14000	20/0,5	26	СК-ЦН-34М	14000	10/0,35
12	Ц (Меркушева)	15000	20/0,4	27	ВЦНИИОТ	10000	10/0,35
13	ЦН-11	12000	15/0,35	28	СИОТ	12000	20/0,5
14	ЦН-15	10000	20/0,4	29	ОЭКДМ "Клайпеда"	15000	10/0,35
15	ЦН-15У	11000	15/0,5	30	Ц (Меркушева)	16000	10/0,35

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ЗАВДАНЬ

Основним напрямком захисту повітряного басейну від забруднення викидами є зменшення їх абсолютної кількості шляхом оптимізації процесів горіння; використання ефективного теплоенергетичного устаткування, різноманітних установок вловлювання; збільшення швидкості виходу газів із устя димової труби; підвищення температури відпрацьованих газів; розсіювання в атмосфері викидів димовими трубами. Першим кроком у цьому напрямку є визначення обсягів викидів шкідливих речовин від котельних установок.

Методики розрахунку викидів шкідливих речовин (до розрахункових завдань № 1 і 2)

Викиди золи. Загальна кількість золи, яка виноситься з димовими газами, на 1 кг спаленого палива (характеристики палив наведено у табл. 1Д) з урахуванням недопалу, складає, кг/кг,

$$g = \alpha_{\text{в}} \frac{A^{\text{p}}}{100} \left(1 + \frac{\Gamma_{\text{в}}}{100 - \Gamma_{\text{в}}} \right), \quad (1)$$

де A^{p} – зольність палива на робочу масу, %; $\Gamma_{\text{в}}$ – вміст горючих у золі виносу, %; $\alpha_{\text{в}}$ – доля твердих частинок, що виносяться димовими газами з топки, залежить від типу топки котла:

Пилоугільні топки з сухим шлаковидаленням:

кутовими горілками	– 0,95
фронтальними горілками	– 0,85

Шахтно-млинові топки:

для спалювання вугілля	– 0,80...0,85
для спалювання сланців	– 0,60...0,65

Камери:

з твердим шлаковидаленням	– 0,95
відкриті з рідким шлаковидаленням	– 0,7...0,85
напіввідкриті з рідким шлаковидаленням	– 0,6...0,8

Двокамерні топки

– 0,5...0,6

Топки з вертикальними передтопками

– 0,2...0,4

Горизонтальні циклонні топки

– 0,1...0,15

Для камерних топок за умови однакового вмісту горючих у шлаках та виносі механічний недопал q_4 складає

$$\frac{q_4}{100} = \frac{\Gamma_{\text{в}}}{100 - \Gamma_{\text{в}}} = \frac{32,7 A^{\text{p}}}{Q_{\text{н}}^{\text{p}} \cdot 100}, \quad (2)$$

де $Q_{\text{н}}^{\text{p}}$ – нижня теплота згоряння палива, МДж/кг (32,7 МДж/кг – середня теплота згоряння палива).

Після підстановки співвідношення $\Gamma_{\text{в}} / (100 - \Gamma_{\text{в}})$ із формули (2) до формули (1) кількість золи можна визначити як

$$g = \alpha_{\text{в}} \left(A^{\text{p}} + q_4 \frac{Q_{\text{н}}^{\text{p}}}{32,7} \right) / 100. \quad (3)$$

У розрахунках через різну теплоту згоряння палив часто використовують поняття приведені зольність $A_{\text{пр}}$ та сірчистість $S_{\text{пр}}$, які можна визначити за виразами

$$A_{\text{пр}} = 10^3 A^{\text{P}} / Q_{\text{H}}^{\text{P}}; \quad S_{\text{пр}} = 10^3 S^{\text{P}} / Q_{\text{H}}^{\text{P}}, \quad (4)$$

де S^{P} – вміст сірки у робочій масі палива, %.

Викиди золи до атмосфери за одиницю часу (г/с, т/год) із урахуванням установки золовловлювача визначаються за виразом

$$M_3 = B \frac{A^{\text{P}}}{100 - \Gamma_{\text{B}}} \alpha_{\text{B}} (1 - \eta_3), \quad (5)$$

де B – витрати палива, г/с, т/год, м³/с; η_3 – коефіцієнт очищення пристроїв золовловлювання (приймається з табл. 4Д).

За відсутністю даних по α_{B} викиди золи можна оцінити як

$$M_3 = 0,01B(\alpha_{\text{B}} A^{\text{P}} + q_4 Q_{\text{H}}^{\text{P}} / 32680)(1 - \eta_3), \quad (6)$$

або

$$M_3 = \frac{10^6 B}{3600} \left(1 - \frac{\eta_3}{100}\right) \left[\left(1 - \frac{q_4}{100}\right) \frac{A^{\text{P}}}{100} + \frac{q_4}{100} \right].$$

Двооксиди сірки. Викиди оксидів сірки визначають за сірчанним ангідридом, г/с, т/год

$$M_{\text{SO}_2} = 2 \cdot 10^3 \frac{S^{\text{P}}}{100} B (1 - \eta_{\text{SO}_2}^{\text{I}}) (1 - \eta_{\text{SO}_2}^{\text{II}}), \quad (7)$$

де $\eta_{\text{SO}_2}^{\text{I}}$ – частка оксидів сірки, що зв'язуються летючою золою у газоходах котла (залежить від вмісту оксиду кальцію у робочій масі палива); якщо дані по $\eta_{\text{SO}_2}^{\text{I}}$ відсутні, для розрахунків приймаються: сланці – 0,5; кансько-ачинське вугілля – 0,2; торф – 0,13; екібастузьке вугілля – 0,02; інші види твердого палива – 0,1; мазут – 0,02; $\eta_{\text{SO}_2}^{\text{II}} = 1 - C_{\text{SO}_2} / C_{\text{SO}_2}^{\text{T}}$ – частка оксидів сірки, які вловлюються у золовловлювачі, C_{SO_2} – виміряна концентрація оксидів сірки у відпрацьованих газах, мг/м³; $C_{\text{SO}_2}^{\text{T}} = 0,02 S^{\text{P}} / V_{\text{Г}}$ – теоретична концентрація сірчаного ангідриду у відпрацьованих газах за умови окислення всієї сірки палива до SO₂, мг/м³; $V_{\text{Г}}$ – об'єм продуктів згоряння, м³/кг.

Для сухих золовловлювачів $\eta_{\text{SO}_2}^{\text{II}} = 0$.

За відсутністю даних по $\alpha_{\text{в}}$ викиди SO_2 можна оцінити як

$$M_{\text{SO}_2} = \frac{10^6 B}{3600} \frac{S^{\text{p}}}{100} \frac{\mu_{\text{SO}_2}}{\mu_{\text{s}}}, \quad (8)$$

де μ_{SO_2} , μ_{s} – молекулярна маса SO_2 та S відповідно (їх відношення дорівнює 2).

Оксиди азоту. Наведена нижче методика застосовується до парових та водонагрівальних котлів паропродуктивністю не менше 75 т/год і теплопродуктивністю не менше 50 Гкал/год відповідно та показує особливості методу розрахунку викидів оксидів азоту у процесі проектування і реконструкції котельних установок.

Об'єм оксидів азоту залежить від характеристик палива та конструктивного виконання топкової камери котельної установки (див. табл. 1Д, 7Д, 8Д).

У топкових камерах при згорянні палива утворюється 95...99 % оксиду азоту NO і 1...5 % двооксиду азоту NO_2 . У зв'язку з неконтрольованим перетворенням NO на NO_2 в атмосфері розрахунки доцільно проводити умовно на NO_2 . Для оцінки частки двооксиду азоту в сумарному вмісті NO_x у атмосферному повітрі при нормуванні викидів ТЕС застосовують коефіцієнт 0,8.

Викиди оксидів азоту M_{NO_2} , г/с, визначаються за питомими викидами або за концентрацією оксидів азоту:

$$\begin{aligned} M_{\text{NO}} &= B Q_{\text{н}}^{\text{p}} K_{\text{NO}_2}; \\ M_{\text{NO}_2} &= B V_{\text{o.c}} C_{\text{NO}_2}, \end{aligned} \quad (9)$$

де K_{NO_2} – питомий викид NO у перерахунку на NO_2 , кг/ГДж;
 C_{NO_2} – концентрація оксидів азоту в сухій пробі газу за стандартних умов та при визначеному коефіцієнті надлишку повітря α , г/м³ (всі розрахунки концентрації NO_2 при спалюванні твердого палива перераховуються на $\alpha = 1,4$, а при спалюванні газу і мазуту – на $\alpha = 1,167$); $V_{\text{o.c}}$ – об'єм сухих димових газів при α , що і для C_{NO_2} , м³/кг чи м³/м³:

$$V_{o.c} = V_{\Gamma}^0 + 0,984(\alpha - 1)V^0 - V_{H_2O}^0,$$

де V^0 , V_{Γ}^0 , $V_{H_2O}^0$ – відповідно об'єм повітря, димових газів і водяних парів при стехіометричному спалюванні 1 кг або 1 м³ палива.

За відсутністю даних по нижчій теплоті згоряння робочої маси палива, Q_H^p визначається за формулою:

$$Q_H^p = 340C^p + 1035H^p - 109(O^p - S^p) - 25W^p.$$

Теоретичний об'єм повітря V^0 , м³/кг,

$$V^0 = 0,0889(C^p + 0,375S^p) + 0,265H^p - 0,033O^p.$$

Об'єм продуктів згоряння V_{Γ} , м³/кг,

$$V_{RO_2} = 1,87 \frac{C^p + 0,375S_{\text{л}}^p}{100}; \quad V_{R_2} = 0,79V^0 + 0,8 \frac{N^p}{100} + (\alpha - 1)V^0;$$

$$V_{H_2O}^0 = 0,111H^p + 0,0124W^p + 0,0161V^0;$$

$$V_{\Gamma} = V_{RO_2} + V_{N_2}^0 + V_{H_2O}^0 + 1,061V^0(\alpha - 1).$$

Теплота, затрачена на виробництво пари, кВт,

$$Q_K = D(i_{\text{п.п}} - i_{\text{ж.в}}) + pD[(i' - i_{\text{ж.в}})],$$

де D – продуктивність котла, кг/с; $i_{\text{п.п}}$ – ентальпія перегрітої пари (якщо котел виробляє насичену пару, то замість $i_{\text{п.п}}$ слід ставити $i_{\text{н.п}}$), кДж/кг; $i_{\text{ж.в}}$ – ентальпія живильної води; p – кількість води, яка видаляється з котлоагрегату для дотримання допустимого вмісту солей у котельній воді (безперервне продування котла), $p = 3\%$; i' – ентальпія котельної води.

За відсутністю даних по витратах палива $B = Q_K / (Q_H^p \eta_K)$, де η_K – ККД котла.

Співвідношення між питомими викидами і концентрацією оксидів азоту $K_{NO_2} = C_{NO_2} V_{o.c} / Q_H^p$.

Питомі викиди оксидів азоту пилувугільних котлів. Необхідні дані для розрахунку питомих викидів:

N^p – вміст азоту в паливі котлоагрегату на робочу масу, %;
тип пальників – вихрові, прямоточні, з подачею пилу високої концентрації;

α_n – коефіцієнт надлишку повітря у пальниках;

α_1 – частка первинного повітря відносно теоретично необхідного;

r_n – ступінь рециркуляції димових газів через пальники, %;

W_2/W_1 – співвідношення швидкостей у вихідному перерізі пальників;

$\Delta\alpha_t$ – присмоктування до топки;

$\Delta\alpha_3$ – третинне повітря, яке подається до топки поза пальниками;

$\Delta\alpha_{скд}$ – повітря, яке скидається при транспортуванні пилу до пальників гарячим повітрям;

$T'''_{a.g}$ – температура поза зоною активного горіння, К.

Питомі викиди оксидів азоту K_{NO_2} складаються з паливних $K_{NO_2}^{пл}$ та повітряних $K_{NO_2}^п$ оксидів:

$$K_{NO_2} = K_{NO_2}^{пл} + K_{NO_2}^п; \quad K_{NO_2}^п = 0,7 N'' \beta_{\alpha_n} \beta_{\alpha_1} \beta_{r_n} \beta_{\alpha_3} \beta_{\alpha_{скд}}, \quad (10)$$

де $N'' = 10 \cdot N^p / Q_n^p$ – приведений вміст азоту в паливі, кг/ГДж.

Значення необхідних коефіцієнтів наводяться у табл. 2Д.

При транспортуванні пилу до пальників високої концентрації значення $K_{NO_2}^{пл}$ помножується на коефіцієнт 0,8, а α_1 і $\frac{W_2}{W_1}$ приймаються аналогічними випадку звичайної подачі пилу до пальників первинним повітрям.

Повітряні оксиди азоту утворюються у зоні максимальних температур, коли поля концентрацій, швидкостей і температур окремих пальників уже вирівнялись, тому $K_{NO_2}^п$ визначається не конструктивними особливостями пальників, а інтегральними параметрами топкового процесу.

Для розрахунку $K_{NO_2}^п$ використовується залежність Зельдовича:

$$K_{\text{NO}_2}^{\text{п}} = 1,54 \cdot 10^{16} \sqrt{\frac{\alpha_{\text{а.г}}'' - 1}{\alpha_{\text{а.г}}''}} e^{\frac{6700}{T_{\text{а.г}}''} / \sqrt{T_{\text{а.г}}''}}, \quad (11)$$

де $\alpha_{\text{а.г}}''$ – коефіцієнт надлишку повітря у зоні активного горіння (умовно приймається як сума організовано поданого повітря і присмоктування через нижню частину топкової камери),

$$\alpha_{\text{а.г}}'' = \alpha_{\text{п}} + \frac{1}{2} \Delta \alpha_{\text{Т}} + \Delta \alpha_{\text{скд}} + \Delta \alpha_3,$$

$T_{\text{а.г}}''$ – обчислюється за рекомендаціями вказівок "Проектирование топков с твердым шлакоудалением".

Рівняння (11) дійсне у діапазоні $1,05 \leq \alpha \leq 1,4$ та до температури $T_{\text{а.г}}'' = 2050$ К, а при 1800 К значенням $K_{\text{NO}_2}^{\text{п}}$ можна знехтувати.

За відсутністю даних визначається викид оксидів азоту по NO_2 :

$$M_{\text{NO}_2} = 0,034 \beta_1 k B Q_{\text{н}}^{\text{п}} \left(1 - \frac{q_4}{100} \right) (1 - \beta_2 r) \beta_3,$$

де β_1 – безрозмірний поправочний коефіцієнт, який враховує вплив якості палива та способу шлакозоловидалення на вихід оксидів азоту (див. табл. 5Д); β_3 – коефіцієнт, що враховує конструкцію пальників (для вихрових пальників – 1, для прямоточних пальників – 0,85); r – ступінь рециркуляції продуктів згоряння або сушильного агента у відсотках від витрати повітря дуття (за відсутністю рециркуляції $r = 0$); β_2 – коефіцієнт, який характеризує ефективність впливу на згоряння продуктів рециркуляції у залежності від умов подачі їх до топки (див. табл. 6Д); k – коефіцієнт, що характеризує вихід оксидів азоту на 1 т спаленого умовного палива, кг/т (залежить від паропроодуктивності котла):

для котлів паропроодуктивністю більше 70 т/год при спалюванні газу і мазуту в усьому діапазоні навантажень, а також для котлів на твердому паливі при навантаженнях вище 75 % номінального та температурі факела більше 1500 °С

$$k = \frac{12D}{200 + D_{\text{н}}};$$

для котлів паропроодуктивністю менше 70 т/год

$$k = 3,5 \frac{D}{70};$$

для водонагрівальних котлів

$$k = \frac{2,5Q}{20 + Q_n},$$

де D_n , D – номінальна та дійсна паропроодуктивність котла, т/год;
 Q_n , Q – номінальна та дійсна теплопродуктивність котла, Гкал/год).

При спалюванні твердого палива і навантаженні котла менше 75 % номінального до формул замість D і Q підставляють відповідно $0,75D$ і $0,75Q$. При спалюванні твердого палива з температурою факела нижче 1500 °С у всьому діапазоні навантажень замість D і Q підставляють відповідно D_n і Q_n .

Питомі викиди оксидів азоту при спалюванні газу і мазуту.
Необхідні дані:

D_n , D – номінальна та дійсна паропроодуктивність котла, кг/с;

$a_{ст}$ – коефіцієнт, який враховує місце подачі вторинного повітря: назустріч факелу – 0,015; під пальниками – 0,007; над пальниками – 0,018;

q – співвідношення вологи палива у зоні горіння (не більше 10 %);

$a_{вл}$ – коефіцієнт, який враховує місце подачі вологи: у корінь факела через пальники – 0,025; у пристінну зону – 0,015;

N^p – вміст азоту в паливі, %;

$a_{гп}$ – ширина топки, м (за осями екранних труб, а за наявності двосвітного екрана – ширина однієї комірки);

$b_{гп}$ – глибина топки за осями екранних труб, м;

$Z_{яр}$ – число ярусів пальників;

$h_{яр}$ – відстань між осями суміжних пальників (за висотою), м;

T_p – температура повітря перед пальниками, К;

α – коефіцієнт надлишку повітря на виході з топки;

r – доля рециркуляції димових газів, % (не більше 20 %);

$a_{рец}$ – коефіцієнт, який залежить від місця подачі газів рециркуляції: до поду топки – 0,0025; у сопла під пальники – 0,01; навколо амбразури пальника – 0,01; до задувного повітря по периферії пальника зі швидкістю, що дорівнює вихідній швидкості повітря, – 0,025;

δ – доля повітря, яке подається на другий ступінь горіння (не більше 30 % від загальної витрати повітря).

За розмірами топки визначається навантаження променесприймаючої поверхні зони активного горіння у МВт/м² (за наявності в топці двосвітного екрана $b_{\text{тп}}$ приймається на одну комірку):

$$q_{\text{а.г}} = \frac{Q_{\text{н}}^{\text{р}} B}{2(a_{\text{тп}} + b_{\text{тп}})Z_{\text{яр}}h_{\text{яр}} - 1,5a_{\text{тп}}b_{\text{тп}}}.$$

Для топок із однорядним розташуванням пальників (потужність котла 30...60 МВт) $Z_{\text{яр}}h_{\text{яр}} = 3$ м, при подовому компонуванні пальників (потужність котла 50...100 МВт) $Z_{\text{яр}}h_{\text{яр}} = 7,5$ м, для пальників потужністю 101...160 МВт $Z_{\text{яр}}h_{\text{яр}} = 10$ м.

Концентрація оксидів азоту C_{NO_x} , мг/м³, при $\alpha = 1,02$, номінальному навантаженні й без застосування заходів для зниження викидів (при значеннях $q_{\text{а.г}}$ у межах $0,5 < q_{\text{а.г}} < 0,3$ МВт/м²):
при спалюванні газу

$$C'_{\text{NO}_x} = \frac{C_{\text{NO}_x}}{K_{\text{м}}} = 0,613q_{\text{а.г}}^{0,88};$$

при спалюванні мазуту (друга складова рівняння враховує "паливні" оксиди азоту)

$$C'_{\text{NO}_x} = \frac{C_{\text{NO}_x}}{K_{\text{м}}} = 0,632q_{\text{а.г}}^{0,62} + 1000(N^{\text{р}} - 0,25)(\alpha - 0,8).$$

Одержані концентрації слід доповнити коефіцієнтами

$$C_{\text{NO}_x} = C'_{\text{NO}_x} K_{\text{м}} K_{\text{п.п}} K_{\alpha} K_{\text{п}} K_{\text{ст}} K_{\text{вл}} K_{\text{н}}, \quad (12)$$

які враховують:

теплову продуктивність топки $K_{\text{м}} = 1 - \exp\left(-\frac{1,5 - Q^{0,41}}{7,1}\right)$, ($Q = B Q_{\text{н}}^{\text{р}}$);

температуру повітря, яка надходить до пальників, $K_{\text{п.п}} = 1 - 0,01 \cdot (620 - T_{\text{п}})$ при $T_{\text{п}} < 620$ К;

коефіцієнт надлишку повітря $K_{\alpha} = 1,35 - 43(\alpha - 1,09)^2 + 2(\alpha - 1,09)$;

рециркуляцію $K_{\Pi} = 1 - a_{\text{рец}} r$;

ступеневе спалювання $K_{\text{ст}} = 1 - a_{\text{ст}} \delta$;

подачу вологи $K_{\text{вл}} = 1 - a_{\text{вл}} q$;

дійсне навантаження котла $K_N = \left(\frac{D}{D_H} \right)^{1,25}$.

Питомі викиди оксидів азоту при одночасному спалюванні вугілля з газом або мазутом. Розрахунки викидів оксидів азоту виконуються для роботи котла на гіршому в екологічному сенсі паливі (приведений вміст азоту на 1 ГДж в усіх марках вугілля вище, ніж у мазуті, а у природному газі зв'язаний азот взагалі відсутній).

При одночасному спалюванні вугілля і газу K_{NO_2} або C_{NO_2} визначається як

$$K_{\text{NO}_2}^{\text{см}} = q_1(K_{\text{NO}_2})_1 + q_2(K_{\text{NO}_2}) + \dots;$$

$$C_{\text{NO}_2}^{\text{см}} = q_1(C_{\text{NO}_2})_1 + q_2(C_{\text{NO}_2}) + \dots,$$

де q_1 і q_2 – доля кожного з видів палива за тепловиділенням у топці,

$$q_1 = \frac{B_1(Q_H^p)_1}{Q_T}, \quad q_2 = \frac{B_2(Q_H^p)_2}{Q_T}; \quad B_1, B_2 - \text{розрахункова витрата кожного}$$

з видів палива на котел; $(Q_H^p)_1, (Q_H^p)_2$ – теплота згоряння кожного з видів палива; Q_T – сумарне тепловиділення у топці, МВт;

Питомі викиди оксидів азоту $(K_{\text{NO}_2})_1, (K_{\text{NO}_2})_2$ та концентрації оксидів азоту $(C_{\text{NO}_2})_1$ і $(C_{\text{NO}_2})_2$ у перерахунку на NO_2 обчислюються за умови, що котел працює на одному виді палива. При спалюванні вугілля K_{NO_2} і C_{NO_2} визначаються за формулою (10), а при спалюванні газу або мазуту – відповідно за формулою (12).

За усередненими $K_{\text{NO}_2}^{\text{см}}$ або $C_{\text{NO}_2}^{\text{см}}$ можна обчислити викиди оксидів азоту M_{NO_2} , г/с. Для цього користуються формулами оцінки

кількісних значень викидів, підставляючи умовно усереднені значення $\overline{Q}_H^p$, $\overline{V}_\Gamma$ і $\overline{B}$:

$$\overline{B} = (B)_1 + (B)_2 + \dots; \quad \overline{B} = \frac{(Q_H^p)_1 (B)_1 + (Q_H^p)_2 (B)_2 + \dots}{(B)_1 + (B)_2 + \dots};$$

$$\overline{V}_\Gamma = \overline{V}_\Pi^0 + (\alpha - 1) \overline{V}_\Pi^0 + \dots;$$

для визначення умовно усередненого об'єму димових газів $\overline{V}_\Pi^0$ обчислюються умовні витрати при стехіометричному спалюванні кожного з видів палива:

$$\overline{V}_\Gamma^0 = \frac{(V_\Gamma^0)_1 (B)_1 + (V_\Gamma^0)_2 (B)_2 + \dots}{(B)_1 + (B)_2 + \dots}; \quad \overline{V}_\Pi^0 = \frac{(V_\Pi^0)_1 (B)_1 + (V_\Pi^0)_2 (B)_2 + \dots}{(B)_1 + (B)_2 + \dots}.$$

Пентаоксид ванадію. Кількість оксидів ванадію, яка викидається до атмосфери з димовими газами за одиницю часу, у перерахунку на пентаоксид ванадію

$$M_{V_2O_5} = 10^{-6} G_{V_2O_5} B (1 - \eta_{o.c}) (1 - \eta_y),$$

де $G_{V_2O_5}$ – вміст ванадію у рідкому паливі у перерахунку на V_2O_5 , г/т; $\eta_{o.c}$ – коефіцієнт осідання оксидів ванадію на поверхнях нагріву котлів (для котлів із проміжними пароперегрівачами, очищення поверхонь нагріву яких здійснюється у зупиненому стані, $\eta_{o.c} = 0,07$; для котлів без проміжних паронагрівачів за тих же умов очищення $\eta_{o.c} = 0,05$; для інших випадків $\eta_{o.c} = 0$); η_y – доля твердих частинок продуктів згоряння рідкого палива, які вловлюються у пристроях для очищення газів мазутних котлів (η_y оцінюється для середніх умов роботи пристроїв очищення за рік).

За відсутністю результатів аналізу палива $G_{V_2O_5}$, г/т, визначається орієнтовно за формулою (застосовується для мазуту з $S^p > 0,4 \%$):

$$G_{V_2O_5} = 95,4 S^p - 31,6.$$

Оксид вуглецю. Викиди CO, г/с, можна оцінити за наступною формулою

$$M_{CO} = \mu V_r \quad \text{або} \quad M_{CO} = 0,001 C_{CO} \left(1 - \frac{q_4}{100} \right),$$

де V_r – кількість димових газів, м³/с; μ – концентрація CO у димових газах, г/м³; C_{CO} – вихід CO при спалюванні твердого, рідкого чи газоподібного палива (кг/г, кг/тис. м³),

$$C_{CO} = \frac{q_3 R Q_n^p}{1013},$$

q_3 – втрати від хімічної неповноти згоряння палива, % (приймаються за експлуатаційними даними або нормами); R – коефіцієнт, який враховує частку втрат теплоти внаслідок хімічної неповноти згоряння палива, обумовленої неповним згорянням CO (для твердого палива $R = 1$, для газу – 0,5; для мазуту – 0,65).

При спалюванні газу та мазуту з гранично малими надлишками повітря ($\alpha_r = 1,01 \dots 1,03$) q_3 приймається 0,15, а при $\alpha_r \geq 1,05$ – $q_3 = 0$.

Поліциклічний вуглеводень бенз[а]пірен C₂₀H₁₆ із канцерогенними властивостями утворюється у димових газах у результаті складних реакцій у діапазоні температур 973...1073 К при недостатній кількості кисню в зоні горіння. Сажа здатна адсорбувати бенз[а]пірен, у результаті чого її частки отримують канцерогенні властивості.

Методика розрахунку розсіювання шкідливих домішок та вибору димової труби (до розрахункового завдання № 2)

У сучасних котельних труби служать не для створення тяги, а для відведення продуктів згоряння на таку висоту, при якій забезпечується розсіювання викидів до допустимих концентрацій, тому при проектуванні та експлуатації ТЕС або котельних необхідно забезпечити концентрацію шкідливих речовин у атмосферному повітрі на рівні дихання людини не вище ГДК за всіма домішками димових газів (див. табл. 9Д). ГДК атмосферних забруднень встановлюються за двома показниками: максимально разовим і се-

редньодобовим. Максимально разова концентрація характеризує якість атмосферного повітря при відборі проби протягом 20 хв, а середньодобова – протягом доби.

Розрахунок розсіювання проводиться відповідно до санітарних норм СН-369-74 за несприятливих метеорологічних умов (при небезпечній швидкості вітру). Розрахунки ведуться по кожній шкідливій речовині окремо, при цьому концентрація кожної з них не повинна перевищувати ГДК. Додатковою вимогою, встановленою законодавством України, є умова, за якої сума відношень концентрацій викидів до їх ГДК повинна бути менше або дорівнювати одиниці, тобто

$$\frac{c_1}{\text{ГДК}_1} + \frac{c_2}{\text{ГДК}_2} + \dots + \frac{c_n}{\text{ГДК}_n} \leq 1. \quad (13)$$

Оцінку мінімальної висоти димової труби доцільно виконувати у такій послідовності:

1. Розрахунок *викидів золи*, г/с.
2. Розрахунок *викидів SO₂*, г/с.
3. Розрахунок *викидів оксидів азоту по NO₂*, г/с.
4. Визначення діаметра труби, м,

$$D_{\text{д}} = \sqrt{\frac{4V_{\text{г}}}{\pi w_{\text{вих}}}},$$

де $V_{\text{г}}$ – об'ємна втрата продуктів згоряння через трубу при їх температурі на вихідному перерізі, м³/с (охладження продуктів згоряння у трубі не враховується); $w_{\text{вих}}$ – швидкість продуктів згоряння на виході з труби (приймається 20...30 м/с при штучній тязі та висоті труби до 100 м).

5. Визначення попередньої мінімальної висоти труби, м,

$$H = \sqrt[3]{A \frac{M_{\text{SO}_2} + \frac{\text{ГДК}_{\text{SO}_2}}{\text{ГДК}_{\text{NO}_2}} M_{\text{NO}_2}}{\text{ГДК}_{\text{SO}_2}}} \sqrt[3]{\frac{Z}{V_{\text{г}} \Delta t}},$$

де A – коефіцієнт, що залежить від метеорологічних умов місцевості (для України – 160); ГДК_{SO_2} , ГДК_{NO_2} – гранично допустимі

концентрації SO_2 та NO_2 (див. табл. 9Д); Z – кількість труб однакої висоти у котельній; Δt – різниця між температурою димових газів та середньою температурою повітря (середня температура опівдні найжаркіший місяць, $^{\circ}\text{C}$);

6. Розрахунок коефіцієнтів f і v_M :

$$f = 10^3 \frac{w_{\text{вих}}^2 D_{\text{д}}}{H^2 \Delta t}; \quad v_M = 0,65 \sqrt{\frac{V_{\Gamma} \Delta t}{H}}.$$

7. Визначення коефіцієнта m у залежності від параметра f :

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34\sqrt[3]{f}};$$

8. Визначення коефіцієнта n у залежності від параметра v_M :

при $v_M \leq 3$ $n = 3$;

при $0,3 < v_M \leq 2$ $n = 3 - \sqrt{(v_M - 0,3)(4,36 - v_M)}$;

при $v_M > 2$ $n = 1$.

9. Визначення мінімальної висоти труби у другому наближенні:

$$H_1 = H \sqrt{mn}.$$

Якщо різниця між H_1 і H більше 5 %, необхідно виконати другий уточнюючий розрахунок:

$$H_2 = H_1 \sqrt{\frac{m_1 n_1}{mn}}.$$

Коефіцієнти f і v_M для висоти H_1 визначаються за формулою п. 6, а m_1 і n_1 – за формулами пп. 7 і 8.

10. Визначення максимальної приземної концентрації кожної зі шкідливих речовин (золи , SO_2 , NO_2) після уточнення висоти труби H_2 :

$$c_{\text{зол}} = \frac{AM_{\text{зол}} F m_2 n_2}{H_2^2 \sqrt[3]{V_{\Gamma} \Delta t}}; \quad c_{\text{SO}_2} = \frac{AM_{\text{SO}_2} F m_2 n_2}{H_2^2 \sqrt[3]{V_{\Gamma} \Delta t}};$$

$$c_{\text{NO}_2} = \frac{AM_{\text{NO}_2} F m_2 n_2}{H_2^2 \sqrt[3]{V_r \Delta t}},$$

де F – коефіцієнт, який враховує швидкість осідання золи в атмосферному повітрі (приймається 2 при $\eta_3 \geq 90$ % золовловлювача і 2,5 при $\eta_3 = 75...90$ %);

11. Перевірка умови (15). Якщо для котельної установки умова не виконується, то необхідно збільшити висоту труби.

12. Підбір димової труби відповідно до БНіП П-35-76 із цегли або залізобетону з наступного ряду діаметрів вихідного отвору: 1,2; 1,5; 1,8; 2,1; 2,4; 3,0; 3,6; 4,2; 4,8; 5,4; 6,0; 6,6; 7,2; 7,8; 8,4; 9,0; 9,6 м. Висота труб приймається: 30; 45; 60; 75; 90; 120; 150; 180 м. Мінімальний діаметр вихідних отворів цегляних труб – 1,2 м, монолітних залізобетонних – 3,6 м.

На початку розвитку енергетики видалення димових газів котлів через труби здійснювалося за рахунок різниці питомої ваги холодного повітря та гарячих димових газів. Далі димові труби стали використовуватися, у першу чергу, для розсіювання шкідливих домішок димових газів у атмосферному повітрі. Зростання потужності ТЕС та погіршення якості палива призвели до встановлення монолітних залізобетонних стовбурів, які витримували вітрові та вагові навантаження, висотою від 200 м і більше. Проте залізобетон виявився нездатним протистояти впливу сірчаних сполук, вологи та підвищеної температури димових газів і виникла необхідність створення другої (внутрішньої) оболонки, яка б виконувала функції поверхні огороження для агресивних газів.

Для захисту залізобетонної футерованої труби на верхньому її зрізі встановлюють чавунний ковпак (рис. 1,б). На трубі передбачається встановлення світлогороджувальних вогнів на світлофорних майданчиках (рис. 1,а), які розміщуються по висоті труби через кожні 15 або 30 м і оснащуються сходами з огороженням та системою захисту від грози. На трубі фарбуються смуги червоного кольору шириною 2,0...2,5 м із інтервалом по висоті 15 м.

Внутрішня поверхня стовбура труби (рис. 1,в) виконується з ізолюючим покриттям (епоксидний лак та склотканина). Футеровку (пряму або лекальну), що спирається на залізобетонні консолі, розташовані через 30...50 м стовбура (див. рис. 1), створюють з червоної та кислотно-стійкої цегли на діабазовій або андезитовій замазці.

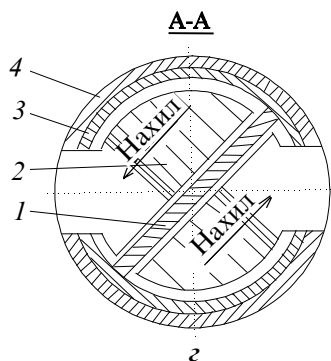
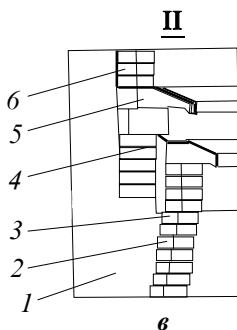
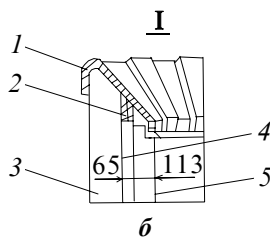
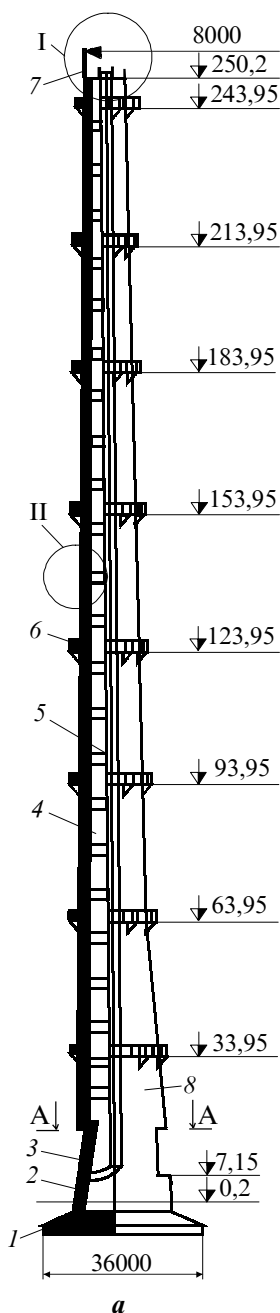


Рис. 1. Залізобетонна футерована труба:

а – загальний вигляд: 1 – фундамент; 2 – цоколь; 3 – пандус; 4 – стовбур; 5 – сходи; 6 – світлофорна прокладка; 7 – грозозахист;

б – верхня частина: 1 – чавунний ковпак; 2 – азбестова прокладка; 3 – стовбур; 4 – ізоляція; 5 – футерівка;

в – середня частина: 1 – залізобетонний стовбур; 2 – кислотостійка цегла; 3 – червона цегла; 4 – азбестовий шнур; 5 – слезникова цегла; 6 – антикорозійний захист;

г – нижня частина: 1 – перегородка; 2 – пандус; 3 – футерівка; 4 – стовбур

У результаті проходку агресивних газів через ущільнення футеровки, конденсації парів та проникнення рідин через бетонний стовбур назовні відбувається руйнація труби, яка повинна протягом всього терміну експлуатації електростанції (30...50 років) працювати без ремонту.

Причиною попадання димових газів у товщу стовбура труби є надлишковий статичний тиск димових газів, ефективним засобом боротьби з яким є встановлення невеликих дифузорів у верхній частині труби та розділення функцій газовідведення і опору. Для цього між огорожувальним та несучим стовбурами виконують повітряний зазор 150...200 мм, де забезпечується циркуляція повітря для відведення агресивних газів (рис. 2). Повітря всмоктується з атмосфери, підігрівається до температури 50...90 °С у калорифері парою з відборів турбін і направляється вентилятором до повітряного каналу (прошарку) труби.

Значне розповсюдження знайшли одностовольні димові труби типу "труба у трубі" зі значним зазором, що дозволяє забезпечувати рух людей та проведення ремонтних робіт. Стовбур складається з кільцевих елементів із металевих каркасів, на яких закріплено панелі з кременбетону висотою 10 м кожен.

На ТЕС із великою кількістю різнотипного обладнання, а особливо на ТЕЦ, застосовують багатостовольні труби, всередині залізобетонної оболонки яких встановлюють 3–4 металеві стовбури циліндричної форми (рис. 3). Основною перевагою багатостовольних труб є можливість обслуговування та ремонту кожного зі стовбурів незалежно від інших.

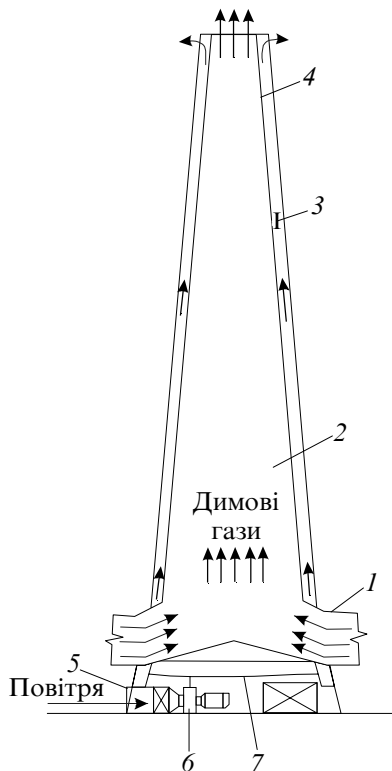


Рис. 2. Димова труба з зазором, що вентильовується:

1 – газоходи підводу; 2 – канал газовідводу; 3 – зазор, що вентильовується; 4 – вихідні вікна; 5 – паровий калорифер; 6 – вентилятор 7 – повітроводи

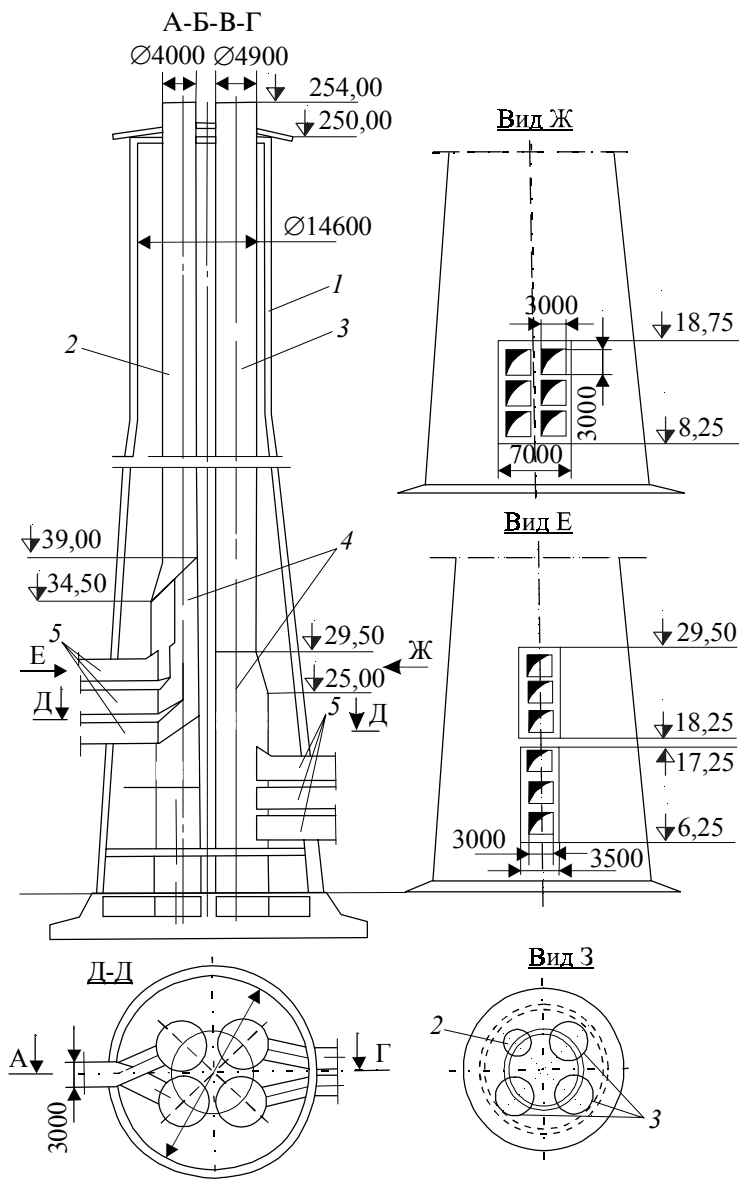


Рис. 3. Багатоствольна димова труба:

1 – залізобетонна оболонка; 2 – металевий стовбур для пікових котлів;
3 – металевий стовбур для парових котлів; 4 – цоколь; 5 – газоходи

За останні роки у Німеччині та США нові ТЕС проектуються без димових труб і очищені гази скидаються через градирні.

Методика вибору та розрахунку циклонів (до розрахункового завдання № 3)

У зворотно-потоківих циклонах використовується відцентрова сила, яка розвивається при обертально-поступальному русі потоку газів (рис. 4). Під її дією частинки грубодисперсних речовин відводяться на стінки циклону, а потім із частиною газів потрапляють до бункеру. Гази повертаються до циклону через центральну частину отвору і дають початок внутрішньому вихру очищеного газу, який залишає циклон. Відділення частинок від газів відбувається при зміні напрямку руху газів на 180° під дією сил інерції. За ходом руху у напрямку вихлопної труби до них поступово приєднуються порції газів, що не потрапили до бункеру. Це не призводить до значного збільшення виносу твердих частинок до атмосфери, оскільки розподілене на значному відрізку довжини циклона перетікання газів відбувається зі швидкістю, недостатньою для протидії руху частинок до периферії циклону. Найбільший вплив на ефективність очищення газів надає рух до області отвору відведення, назустріч частинкам, які видаляються.

Циклони стабільно працюють за будь-якого їх положення у просторі, бункер бере участь у газодинамічних процесах, тому їх використання без бункерів або з ними, але зі зменшеними розмірами призводить до погіршення ефективності роботи апаратів.

Розрахунки циклонів доцільно виконувати методом послідовних наближень, оскільки може виявитися, що за заданих умов неможливо забезпечити необхідне значення коефіцієнта очищення газів або наявні надмірні втрати тиску.

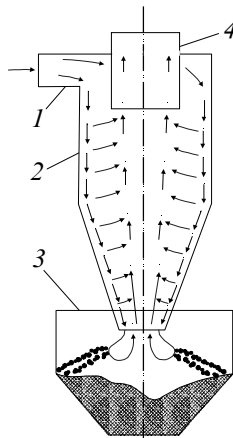


Рис. 4. Схема осевих і радіальних течій у корпусі та бункері циклона:

1 – вхідний патрубок; 2 – корпус циклона; 3 – пиловий бункер; 4 – патрубок відведення

1. Після прийняття типу циклона (див. табл. 3) за даними табл. 4 або 5 визначається оптимальна швидкість газів у апараті $w_{\text{опт}}$.

Таблиця 4. Ефективність циклонів

Параметр	ЦН-24	ЦН-15У	ЦН-15	ЦН-11	СДК-ЦН-33	СК-ЦН-34	СК-ЦН-34М
d_{50}^T , мкм	8,50	6,00	4,50	3,65	2,31	1,95	1,13
$\lg \sigma_{\eta}^r$	0,308	0,283	0,352	0,352	0,364	0,308	0,340
$w_{\text{опт}}$, м/с	4,5	3,5	3,5	3,5	2,0	1,7	2,0

Примітки. 1. Значення d_{50}^T відповідають наступним умовам роботи циклонів: середня швидкість газів у циклоні $w_{\text{опт}} = 3,5$ м/с; діаметр циклона $D_T = 0,6$ м; питома маса частинок $\rho_{\text{ч.т}} = 1930$ кг/м³; динамічна в'язкість газу $\mu_T = 22,2 \cdot 10^{-6}$ Па · с. 2. Для циклона типу ЦМС параметри не визначено.

Таблиця 5. Ефективність циклонів конструкції ВЦНИИОТ і Гидродревпром

Параметр	СИОТ	ВЦНИИОТ	Ц	"Клайпеда"
d_{50}^T , мкм	2,6	8,6	4,12	3,1
$\lg \sigma_{\eta}^r$	0,28	0,32	0,34	0,25
$w_{\text{опт}}$, м/с	1,00	4,00	3,3	1,1
ξ	1400	75	210	1300

Примітки. 1. Значення d_{50}^T відповідають умовам роботи циклонів. 2. Значення коефіцієнта гідравлічного опору циклона "Клайпеда" відноситься до нижнього положення рухливого конуса під вихлопною трубою.

2. Визначається необхідна площа перерізу циклонів, м²,

$$F = V_{\Gamma} / w_{\text{опт}}.$$

3. Визначається діаметр циклона (кількість циклонів N приймається) $D = \sqrt{\frac{F}{0,785N}}$. Округляється до величини, рекомендованої ДСТ 9617–67.

4. Обчислюється дійсна швидкість газів у циклоні, м/с:

$$w = V_{\Gamma} / (0,785 N D^2).$$

Швидкість газів у циклоні не повинна відхилятися від оптимальної більше ніж на 15 %.

5. Приймається за табл. 5 або 6 коефіцієнт гідравлічного опору, який відповідає типу циклона. Для циклонів (одиначних або груп) вводиться уточнююче корегування:

$$\xi = K_1 K_2 \zeta_{\text{ц}500}^{\text{е, п}} + K_3,$$

де $\zeta_{\text{ц}500}^{\text{е, п}}$ – коефіцієнт гідравлічного опору одиночного циклона діаметром 500 мм (див. табл. 6). Індекс "е" означає, що циклон працює у гідравлічній мережі, а "п" – без мережі, тобто на вихлоп до атмосфери; K_1 – поправочний коефіцієнт на діаметр циклона (табл. 7); K_2 – поправочний коефіцієнт на запиленість газу (табл. 8); K_3 – коефіцієнт, який враховує додаткові втрати тиску, пов'язані з компонуванням циклонів до групи [4].

Таблиця 6. Значення коефіцієнтів опору циклонів ($D = 500$ мм, $w_T = 3$ м/с)

Марка циклона	d / D	Без додаткових пристроїв		З вихідним завитком $\zeta_{\text{ц}500}$	З відведенням $90^\circ R / d = 1,5$	
		$\zeta_{\text{ц}500}^{\text{е}}$	$\zeta_{\text{ц}500}^{\text{п}}$		$1 / d = 0-12, \zeta_{\text{ц}500}^{\text{е}}$	$1 / d > 0-12, \zeta_{\text{ц}500}^{\text{е}}$
ЦН-11	0,59	245	250	235	245	250
ЦН-15	–	155	163	150	155	160
ЦН-15У	–	165	170	158	165	170
ЦН-24	–	75	80	73	15	80
СДК-ЦН-33	0,33	520	600	500	–	500
СК-ЦН-34	0,34	1050	1150	–	–	–
СК-ЦН-34М	0,22	–	2800	–	–	–

Таблиця 7. Поправочний коефіцієнт K_1 на вплив діаметра циклона

D , мм	Марка циклона		
	ЦН-11	ЦН-15, ЦН-15У, ЦН-24	СДК-ЦН-33, СК-ЦН-34, СК-ЦН-34М
150	0,94	0,85	1,0
200	0,95	0,90	1,0
300	0,96	0,93	1,0
450	0,99	1,0	1,0
500	1,0	1,0	1,0

Таблиця 8. Значення поправочних коефіцієнтів K_2 на запиленість газів ($D = 500$ мм)

Марка циклона	Запиленість $\cdot 10^3$, кг/м ³						
	0	10	20	40	80	120	150
ЦН-11	1	0,96	0,94	0,92	0,90	0,87	0,85
ЦН-15	1	0,93	0,92	0,91	0,90	0,87	0,86
ЦН-15У	1	0,93	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87
ЦН-24	1	0,95	0,93	0,92	0,90	0,87	0,86
СДК-ЦН-33	1	0,81	0,785	0,78	0,77	0,76	0,745
СК-ЦН-34	1	0,98	0,947	0,93	0,915	0,91	0,90
СК-ЦН-34М	1	0,99	0,97	0,95	—	—	—

Для одиночних циклонів $K_3 = 0$. Для одиночних циклонів інших конструкцій (див. табл. 5) поправочні коефіцієнти не розроблені.

6. Визначаються втрати тиску у циклоні $\Delta p = \zeta \rho_r w^2/2$.

Якщо втрати тиску Δp прийнятні, то слід переходити до обчислення повного коефіцієнта очищення газів у циклоні. Прийнято, що коефіцієнт очищення газів у одиночному циклоні та у групі однаковий, хоча у дійсності він трохи нижче, ніж в одиночному циклоні. Це пояснюють можливістю виникнення перетікання газів через загальний бункер, що знижує коефіцієнт їх очищення у групі.

7. Обчислюється значення параметра d_{50} за робочих умов (діаметр циклона, швидкість потоку, питома маса пилу, динамічна в'язкість газу) та після вибору за табл. 4 або 5 параметрів d_{50}^T та $\lg \sigma_\eta^r$:

$$d_{50} = d_{50}^T \sqrt{(D/D_T) \rho_{ч,Т} / \rho_ч (\mu/\mu_T) w_T / w}.$$

8. Визначається параметр

$$x = (\lg d_m / d_{50}) / \sqrt{\lg^2 \sigma_\eta + \lg^2 \sigma_\chi}.$$

9. За даними табл. 11Д приймається значення $\Phi(x)$, яке являє собою повний коефіцієнт очищення газу. Отримане значення $\eta(\Phi(x))$ зіставляється з необхідним; якщо η менше за необхідне, то обирається інший тип циклона з більшим значенням коефіцієнта гідравлічного опору. Для попередніх розрахунків необхідного значення $\zeta_{ц}$ рекомендується залежність $\xi_{ц2} = \xi_{ц1} \left(\frac{100 - \eta_p}{100 - \eta} \right)^2 \frac{w_1}{w_2} \frac{D_2}{D_1}$, де

індекс "1" відноситься до розрахункових, а індекс 2 – до необхідних значень параметрів циклона.

Найчастіше на підприємствах використовуються циліндричні та конічні циклони, технічні характеристики та конструктивні особливості яких наведено нижче.

Циклони ЦН. До циклонів відносяться, у першу чергу, апарати ЦН-11, ЦН-15, ЦН-15У і ЦН-24 (рис. 5 і табл. 9). Особливості апаратів – наявність подовженої циліндричної частини корпуса, нахил кришки вхідного патрубку під кутом 11° , 15° або 24° ; однакове відношення діаметра вихлопної труби до діаметра циклона. Циклони ЦН-15У відрізняються від інших циклонів ЦН меншою висотою та мають дещо нижчі техніко-економічні показники.

Особливе місце серед циліндричних циклонів займає апарат ЦМС-27, спеціально розроблений для використання у малих котельнях та у промислових установках, які працюють на природній тязі труби (рис. 6). Циклони ЦН застосовуються як в одиночному, так і в груповому виконанні.

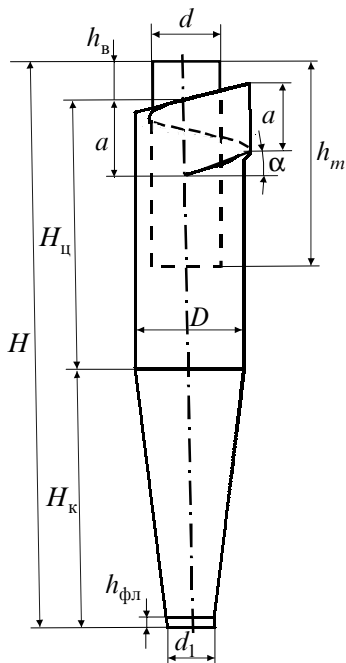


Рис. 5. Циклон типу ЦН

Таблиця 9. Співвідношення розмірів (у долях внутрішнього діаметра) для циклонів ЦН-11, ЦН-15, ЦН-15У, ЦН-24

Найменування	ЦН-15	ЦН-15У	ЦН-24	ЦН-11
Внутрішній діаметр вихлопної труби d	0,59 для всіх типів			
Внутрішній діаметр отвору відведення пилу d_1	0,3–0,4* для всіх типів			
Ширина вхідного патрубка в циклоні (внутрішній розмір) b	0,2 для всіх типів			
Ширина вхідного патрубка на вході (внутрішній розмір) b_1	0,26 для всіх типів			
Довжина вхідного патрубка l	0,6 для всіх типів			
Діаметр середньої лінії циклона $D_{\text{ср}}$	0,8 для всіх типів			
Висота установки фланця $h_{\text{фл}}$	0,1 для всіх типів			
Кут нахилу кришки і вхідного патрубка циклона α	15°	15°	24°	11°
Висота вхідного патрубка (внутрішній діаметр) a	0,66	0,66	1,11	0,48

Найменування	ЦН-15	ЦН-15У	ЦН-24	ЦН-11
Висота вихлопної труби h_m	1,74	1,5	2,11	1,56
Висота циліндричної частини циклона $H_{\text{ц}}$	2,26	1,51	2,11	2,06
Висота конуса циклона $H_{\text{к}}$	2,0	1,50	1,75	2,0
Висота зовнішньої частини вихлопної труби h_b	0,3	0,3	0,4	0,3
Загальна висота циклона H	4,50	3,31	4,26	4,38

* Більший розмір приймається при малих D і великій запиленості.

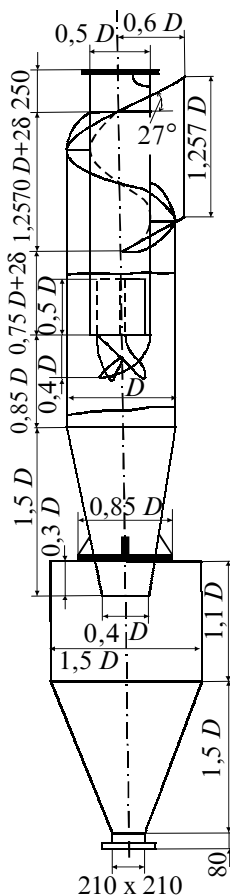


Рис. 6. Циклон ЦМС-27

Конічні циклони при однаковій продуктивності з циліндричними відрізняються від останніх великими габаритами і тому рідко використовуються у груповому виконанні. До конічних циклонів відносяться апарати СДК-ЦН-33 та СК-ЦН-34, які мають подовжену конічну частину, спіральний вхідний патрубок та мале відношення діаметра вихлопної труби до діаметра циліндричної частини циклона – 0,33 і 0,34 (рис. 7 і табл. 10).

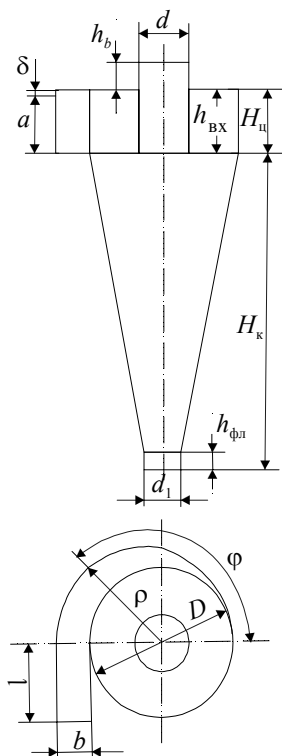


Рис. 7. Спірально-конічний циклон ЦН

На установках каталітичного крекінгу нафтопродуктів, зневоднення бутану, а також виробництва сажі знайшли використання модернізовані конічні циклони СК-ЦН-34М, які застосовуються для вловлювання пилу з високою абразивністю частинок або високою злипаемістю. Серед недоліків цих циклонів визнають суттєві втра-

ти тиску, що приблизно у 2 рази більше, ніж у конічних циклонах СДК-ЦН-33 і СК-ЦН-34.

Таблиця 10. Співвідношення розмірів (у долях діаметра D) для циклонів СДК-ЦН-33, СК-ЦН-34, СК-ЦН-34М

Найменування	СДК-ЦН-33	СК-ЦН-34	СК-ЦН-34М
Внутрішній діаметр циліндричної частини D	До 3600 мм		До 4000 мм
Висота циліндричної частини $H_{\text{ц}}$	0,535	0,515	0,4
Висота конічної частини $H_{\text{к}}$	3,0	2,110	2,6
Внутрішній діаметр вихлопної труби d	0,334	0,340	0,22
Внутрішній діаметр отвору випуску пилу d_1	0,334	0,229	0,18
Ширина вхідного патрубку b	0,264	0,214	0,18
Висота зовнішньої частини вихлопної труби $h_{\text{в}}$	0,2–0,3	0,2–0,3	0,3
Висота установки фланця $h_{\text{фл}}$	0,1	0,1	0,1
Висота вхідного патрубку a	0,535	0,515	0,4
Довжина вхідного патрубку l	0,6	0,6	0,6
Висота заглиблення вихлопної труби $h_{\text{г}}$	0,535	0,515	0,4
Поточний радіус завитка ρ	$D / 2 + b\varphi / 2\pi$	$D / 2 + b\varphi / \pi$	$D / 2 + b\varphi / \pi$

Циклони виготовляються як для "правого" (за годинниковою стрілкою, якщо дивитися у бік вихлопної труби), так і для "лівого" обертання газового потоку. За ДСТ 9617–67 для циклонів прийнято наступний ряд діаметрів: 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2400 і 3000 мм.

Для всіх одиночних циклонів бункери виконуються циліндричної форми. Рекомендовані діаметри бункерів приймаються відповідно ДСТ 9617–67: $D_6 = 1,5D$ для циліндричних циклонів; $D_6 = 1,1\text{--}1,2D$ для конічних циклонів. Висота циліндричної частини бункера – $0,8D$, днище бункера виконується, за ДСТ 1260–67, з кутом стінок 60° . За відсутністю необхідної площі для розміщення бункера дозволяється зменшувати його діаметр до $0,8D$ при обов'язковому збереженні розрахункового об'єму.

Для огляду та очищення бункерів передбачаються люки діаметром 250 або 500 мм. Отвори для вивантаження пилу $d_{\text{в}}$ приймаються у залежності від об'єму бункерів і продуктивності циклонів – 200, 300 і 500 мм. Для бункерів діаметром 300 і 500 мм

можуть прийматися отвори вивантаження пилу 100 і 150 мм відповідно. Розміри фланця на штуцері вивантаження пилу повинні відповідати приєднувальним розмірам пилових затворів.

Циклони ВЦННІОТ і СИОТ. На багатьох підприємствах машинобудування та легкої промисловості наряду з циклонами НІЙГаз встановлюються циклони ВЦННІОТ (рис. 8 і 9, табл. 11 і 12).

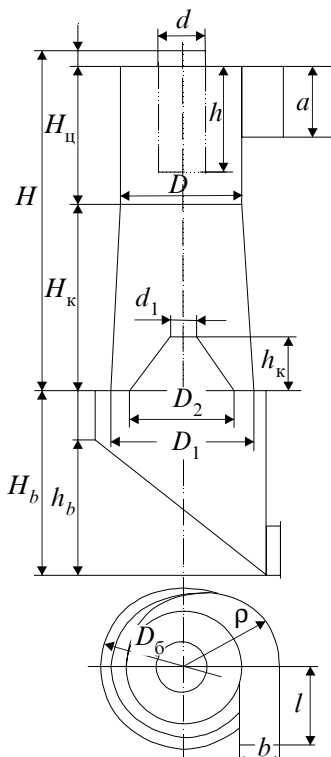


Рис. 8. Циклон ВЦННІОТ

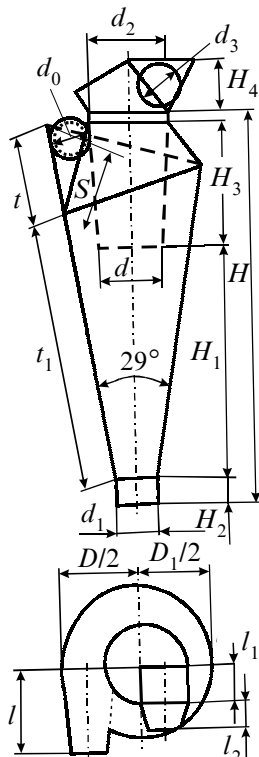


Рис. 9. Циклон СИОТ

Таблиця 11. Співвідношення розмірів (у долях діаметра D) для циклонів типу ВЦННІОТ

Найменування	Значення
Внутрішній діаметр циліндричної частини D	До 1000 мм
Висота циліндричної частини $H_{\text{ц}}$	2,0
Висота конічної частини $H_{\text{к}}$	3,0
Внутрішній діаметр вихлопної труби d	0,5
Діаметр нижньої частини конуса D_1	1,6

Продовж. табл. 11

Найменування	Значення
Діаметр внутрішнього конуса D_2	1,4
Діаметр отвору внутрішнього конуса d_1	0,1
Висота внутрішнього конуса h_k	0,68
Висота заглиблення вихлопної труби h	2,1
Повна висота циклона H	5,2
Довжина вхідного патрубку l	0,6
Висота вхідного патрубку a	1,0
Ширина вхідного патрубку b	0,25
Поточний радіус завитка r	$D / 2 + b\varphi / \pi$

Примітка. Розміри бункерів H_6 , h_6 , D_6 не нормалізовано. Допускається застосування бункерів, пристроїв вивантаження пилу та опорних конструкцій, рекомендованих для апаратів ЦН.

Таблиця 12. Співвідношення розмірів (у долях діаметра D_y) для циклонів СИОТ

Найменування	Значення
Умовний діаметр циклона $D = D_y$	До 2000 мм
Діаметр вхідного патрубку d_0	0,230
Діаметр вихідного патрубку завитка d_3	0,230
Діаметр вихлопної труби у нижній її частині d	0,392
Діаметр вихлопної труби у верхній її частині d_2	0,438
Діаметр отвору конуса d_1	0,092
Габаритний розмір конуса $D_1/2$	0,454
Розміри сторін:	
вхідного патрубку t	0,306
трикутної форми S	0,361
Довжина утворюючого конуса t_1	1,610
Висота циліндричного патрубку H_2	0,184
Висота вільної частини конуса H_1	1,200
Глибина занурення вихлопної труби H_3	0,490
Повна висота циклона H	1,910
Висота розкручування H_4	0,254
Довжина вхідного патрубку l	0,468
Довжина трикутної частини вихідного патрубку l_1	0,280
Довжина переходу з трикутного патрубку на коло l_2	0,334

Примітка. Умовний діаметр циклона D_y прийнято рівним розміру D_1 .

Особливістю циклонів ВЦННІОТ є спосіб транспортування відсепарованого пилю із корпуса до складального бункера, при якому потік газів разом із пилом надходить до бункера через кільцеву щілину, утворену двома співвісними конусними поверхнями. Газ, очищений від пилю, повертається назад до корпуса циклона через центральний отвір внутрішнього конуса. Така конструкція циклонів ВЦННІОТ дозволяє застосовувати їх для вловлювання пилю з підвищеними абразивними властивостями.

Циклони СИОТ для цього не пристосовані і характеризуються трикутною формою вхідного та відповідного патрубків, що не впливає на процес очищення і не призводить до переваг у порівнянні з циклонами ЦН.

Циклони ОЭКДМ і Ц. У деревообробних виробництвах використовують циклони ОЭКДМ ("Клайпеда"), а також Ц (Меркушева) (рис. 10 і 11, табл. 13 і 14).

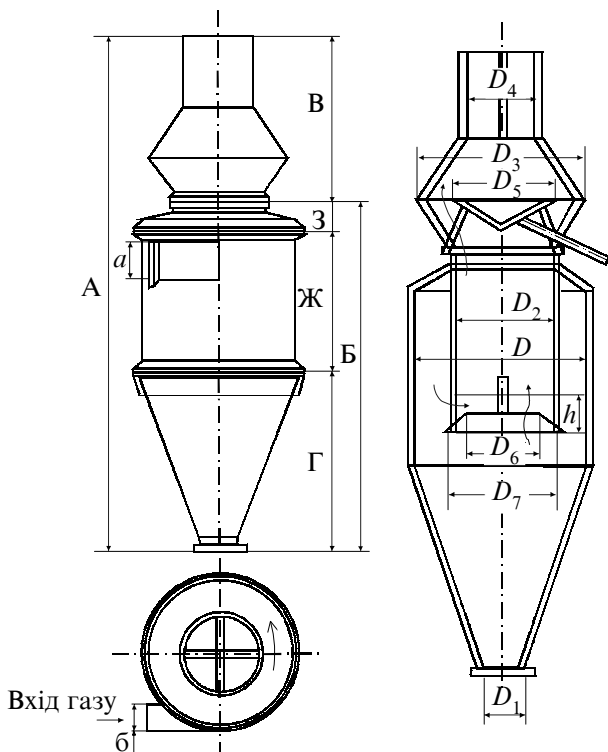


Рис. 10. Циклон ОЭКДМ ("Клайпеда")

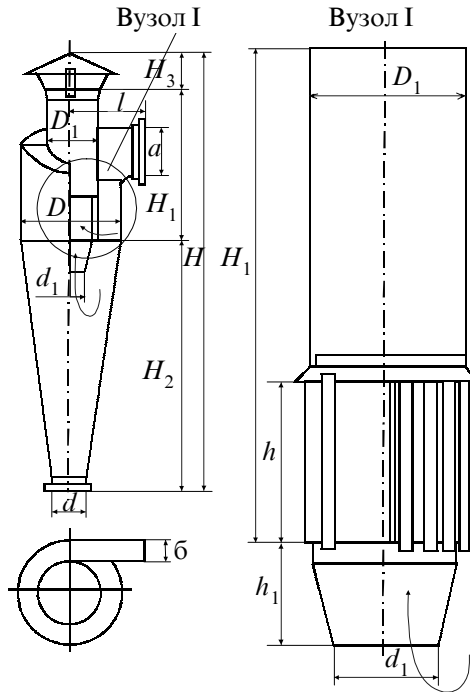


Рис. 11. Циклон типу Ц
(Меркушева)

Таблиця 13. Співвідношення розмірів (у частках діаметра D) циклонів ОЕКДМ ("Клайпеда")

Найменування	Значення
Діаметр циклона D	До 3400 мм
Діаметр пиловипускного патрубку D_1	0,2
Діаметр циліндричної частини вихлопної труби D_2	0,59
Діаметр розширеної частини вихлопної труби D_3	0,90
Діаметр розкручувача потоку D_4	0,46
Діаметр водозбірному конуса D_5	0,59
Діаметр отвору рухливого конуса D_6	0,228
Діаметр рухливого конуса D_7	0,85
Повна висота циклона A	2,95
Висота циклона без водозбірного пристрою Б	2,00
Висота циліндричної частини циклона Ж	0,71
Висота конічної частини Г	1,23
Висота конічної верхньої кришки З	0,14
Повна висота водозбірника В	0,97
Висота вхідного патрубка a	0,25
Ширина вхідного патрубка b	0,195

Таблиця 14. Співвідношення розмірів (у частках діаметра D) циклона типу Ц (Меркушева)

Найменування	Значення
Діаметр циклона D	До 1600 мм
Діаметр отвору конуса d	0,367
Діаметр отвору конуса вихлопної труби d_1	0,36
Діаметр вихлопної труби D_1	0,6
Висота сепаратора h	0,6
Висота конуса під сепаратором h_1	0,3
Висота вихлопної труби H_1	1,7
Висота конуса H_2	2,42
Повна висота циклона H	4,62
Висота вхідного патрубку a	0,5
Ширина вхідного патрубку b	0,25
Довжина вхідного патрубку l	0,75
Висота дощового козирка H_3	0,21

Примітка. Бункери циклона не нормалізовано. Розміри деталей сепаратора змінюються не в прямій пропорції до діаметра циклона.

Особливості циклонів "Клайпеда" і Ц обумовленні способом відведення потоку газів із корпусу до вихлопної труби, куди надходять два потоки газів (див. рис. 10), при цьому у циклоні "Клайпеда" додатковий потік газів входить у зазор між вихлопною трубою та її нижньою конусною частиною, не змінюючи напрямку обертання, а у циклоні типу Ц лопатевий сепаратор (див. рис. 11) змінює напрямок обертання цього потоку на протилежний.

Циклони "Клайпеда" і Ц, як правило, встановлюються на тракті нагнітання вентиляторів та оснащуються пристроями захисту від атмосферних опадів. Тиск у бункерах циклонів типу Ц може становити 500...1000 Па, а "Клайпеда" – до 150 Па.

Циклони типу Ц не рекомендують застосовувати для вловлювання стружки дерева, через забивання внутрішніх сепараторів.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Основна

1. Бугорина М.В., Воробьев П.В., Дмитриева А.П. Инженерная экология и экологический менеджмент. – М.: Логос, 2002. – 528 с.
2. Жабо В.В. Охрана окружающей среды на ТЭС и АЭС. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 240 с.
3. Кошелев А.А., Ташикина Г.В., Чебаненко Б.Б. Экологические проблемы энергетики. – Новосибирск: Наука, 1989. – 322 с.
4. Справочник по пыле- и золоулавливанию / Под ред. А.А. Русанова. – М.: Энергия, 1983. – 312 с.

Додаткова

5. Воликов А.Н. Сжигание газового и жидкого топлива в котлах малой мощности. – Л.: Недра, 1989. – 160 с.
6. Горбов В.М. Енергетичні палива: Навч. посібник. – Миколаїв: УДМТУ, 2003. – 328 с.
7. Мельник Л.Г. Экологическая экономика. – Сумы: Университетская книга, 2001. – 350 с.
8. Правова база з питань екології та охорони природного середовища // Зб. нормативно-правових актів. – К.: Атіка, 2001. – 632 с.
9. РД 34.27.301–91/1. Методика испытаний золоулавливающих установок тепловых электростанций и котельных. – М.: СПО ОРГРЕС, 1991.
10. РД 34-02-305–90/1. Методика определения валовых выбросов вредных веществ в атмосферу от котлов тепловых электростанций. – М.: СПО Союзтехэнерго, 1991.
11. Рижков С.С., Харитонов Ю.М., Благодатний В.В. Апарати для очищення повітря від забруднень: Метод. вказівки. – Миколаїв: УДМТУ, 2002. – 36 с.
12. Рижков С.С., Харитонов Ю.М., Благодатний В.В. Методи очищення повітряного середовища від забруднень: Метод. вказівки. – Миколаїв: УДМТУ, 2002. – 56 с.
13. Рижков С.С., Харитонов Ю.М., Благодатний В.В. Розрахунок викидів шкідливих речовин в атмосферу: Метод. вказівки. – Миколаїв: УДМТУ, 2002. – 44 с.
14. Очистка дымовых газов золоуловителями / Ф.П. Семиков и др. – К.: Техніка, 1975.
15. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод / Під ред. А.К. Запольського. – К.: Лібра, 2000. – 552 с.

Таблиця ІД. Характеристики деяких палив

Родовище, басейн, вид палива	Марка вугілля; клас	Теплота згорання Q_n^p , МДж/кг	Зольність робоча A^p , %	Вологість робоча W^p , %	Сірчистість робоча S^p , %	Об'єм V_r димових газів при $\alpha = 1,4$, м ³ /кг
Донбас	А; Ш	20,2	22,9	8,5	1,7	8,74
	ПА; Р	25,2	20,9	5,0	2,4	9,63
	Т; Р	24,2	23,8	5,0	2,8	9,36
	Ж	18	35,5	9,0	2,5	7,07
	Г	27,5	34,6	9,0	3,2	6,92
	Т; Р	26,5	16,8	6,5	0,4	9,95
	Д; Р	19,5	21,8	13,0	3,0	9,59
Кузбас	Ж; К	20,8	30,7	7,0	0,7	6,87
Карагандинський	К; Р	21,5	27,6	8,0	0,8	8,26
Екібастузький	СС; Р	16,95	40,9	7,0	0,8	6,24
Підмосковний	Б2; Р	10,4	25,2	32,0	2,7	4,75
Березовський	Б2; Р	15,7	4,7	39,0	0,2	6,71
Карагандинський	К	16,2	38,7	10,0	0,9	6,42
Красноброденський	Т; Р	24,7	16,2	10	0,3	9,59
Кузнецький	Д; Р	26,4	5,0	10,0	0,5	9,25
Ірша-Бородинський	Б2; Р	15,7	6,0	33,0	0,2	6,68
Назарівський	Б2; Р	13,0	7,3	39,0	0,4	5,84
Ігатьєвський	Б1; Р	12,7	6,8	40,5	0,4	5,74
Челябінський	Б3; Р	13,9	29,5	18,0	1,0	5,75
Богословський	Б3; Р	10,8	30,4	24,0	0,4	4,57
Черемховське	Д; Р	17,8	27,0	13,0	1,1	7,09
Волинське	Г; Р	22,0	19,8	10,0	2,6	8,53
Кізеловське	Г; Р	19,65	31,0	6,0	6,1	7,86
Агрєнське	Б2	13,8	13,1	34,5	1,3	5,99

Воркутинське	Р	23,6	23,6	5,5	0,8	9,04
Інші види палива						
Сланці естонські	–	11,40	–	15,0	1,6	3,50
Торф фрезерний	–	9,50	5,5	50,0	0,1	3,43
Шматковий торф	–	10,70	6,6	40,0		3,87
Мазут	Малосірчистий	40,40	0,3	3,0	0,3	11,06
	Сірчистий	39,86	0,3	3,0	1,4	10,92
	Високосірчистий	38,89	0,3	3,0	2,8	10,78
Дрова	–	10,20	0,6	40,0	–	3,75

Таблиця 2Д. Коефіцієнти для визначення оксиду азоту

Фактор, який враховується коефіцієнтом	Залежність	Діапазон придатності
Коефіцієнт надлишку повітря у вихровому пальнику $\beta_{\alpha_n}^{вхр}$	$(0,35\alpha_n + 0,4)^2$	$0,9 < \alpha_n < 1,3$
Коефіцієнт надлишку повітря у прямотечійному пальнику $\beta_{\alpha_n}^{прм}$	$(0,53\alpha_n + 0,12)^2$	$0,9 < \alpha_n \leq 1,3$
Частка первинного повітря у пальнику β_{α_1}	$1,73 \alpha_1 + 0,48$	$0,15 \leq \alpha_1 \leq 0,55$
Рециркуляція димових газів на первинне повітря (без зниження температури у зоні активного горіння) β_{r_n}	$1 - 0,016 \sqrt{r_n}$	$0 \leq r_n \leq 30 \%$
Вплив максимальної температури на ділянці утворення паливних оксидів азоту β_{π}	$0,11\sqrt{T_{a,r}'' - 1100}$	$1250 \leq T_{a,r}'' \leq 2050K$
Вплив сумішотворення на корінь факела вихрових пальників $\beta_{см}^{прм}$	$0,4 \left(\frac{W_2}{W_1} \right)^2 + 0,32$	$1,0 \leq \frac{W_2}{W_1} \leq 1,6$
Вплив сумішотворення на корінь факела прямотечійних пальників $\beta_{см}^{прм}$	$0,98 \left(\frac{W_2}{W_1} \right)^2 - 0,47$	$1,4 \leq \frac{W_2}{W_1} \leq 4,0$

Таблиця 3Д. Значення повітряних оксидів азоту $K_{\text{NO}_2}^{\text{п}}$, кг/ГДж

$T_{\text{а.г}}''$	$\alpha_{\text{а.г}}$								
	1,05	1,1	1,15	1,2	1,25	1,3	1,35	1,4	1,45
1800	0,005	0,007	0,009	0,01	0,011	0,012	0,013	0,014	0,014
1820	0,008	0,011	0,013	0,015	0,017	0,018	0,019	0,02	0,021
1840	0,012	0,017	0,02	0,023	0,025	0,026	0,028	0,029	0,031
1860	0,018	0,024	0,029	0,033	0,036	0,039	0,041	0,043	0,045
1880	0,026	0,036	0,043	0,048	0,053	0,057	0,06	0,063	0,066
1900	0,037	0,051	0,062	0,07	0,077	0,082	0,087	0,092	0,095
1920	0,054	0,074	0,089	0,1	0,11	0,118	0,125	0,131	0,137
1940	0,076	0,105	0,127	0,143	0,157	0,168	0,178	0,187	0,195
1960	0,108	0,149	0,179	0,203	0,222	0,238	0,252	0,265	0,276
1980	0,152	0,21	0,252	0,285	0,312	0,335	0,355	0,372	0,388
2000	0,212	0,292	0,351	0,417	0,435	0,467	0,495	0,52	0,542
2020	0,294	0,405	0,487	0,551	0,603	0,648	0,687	0,721	0,751

Таблиця 4Д. ККД (коефіцієнти очищення) пристроїв зололовлювання (рекомендації БНіП II-35-76)

Пристрої зололовлювання	ККД зололовлювача η_3 , %	
	при спалюванні палива	
	шаровому	камерному
Блоки циклонів		70...80
Батарейні циклони	85...90	80...85
Батарейний циклон із рециркуляцією	85...92	85...90
Мокрі зололовлювачі з низьконапірними трубами Вентурі	93...95	93...95
Електрофільтри	—	96...99

Таблиця 5Д. Коефіцієнт β_1

Паливо	Зміст азоту N^p , %	Значення β_1
Природний газ	—	0,85
Мазут при коефіцієнті надлишку повітря у топці 1,05	0,3...0,6	0,8
Тверде паливо*: вугілля Ангрєнське Б2, Березовське Б2, Назаровське Б2, Ірша-Бородинське, Харанорське Б1, Донецьке А, Ш, Башкирське Б1, Кансько-Ачинське, горючі сланці	1,0	0,55/0,8

Продовж. табл. 5Д

Паливо	Зміст азоту N^p , %	Значення β_1
вугілля Веселовське, Богословське, Черемховське, Сучанське, Анадирське, Донецьке Т, ПА, Карагандинське К, Підмосковне Б2, Львівсько-Волинське Г, Єгоршинське ПА, Райчинське	1,0...1,4	0,7/1,0
вугілля Донецьке Д, Г, Г, СШ, К, ОС, Екібастузьське СС, Печорське Ж, Кузбаське Ж, К, ОС, Південно-Сахалінське	1,4...2,0	1,0/1,4
вугілля Кузнецьке Д, Г, 2СС, 1СС, Інтинське Д, Печорське, Том-Усинське, фрезерний торф	2,0	1,4/2,0

* Чисельник – при твердому шлакозоловидаленні, знаменник – при рідкому.

Таблиця 6Д. Коефіцієнт β_2 при рециркуляції $0 < r \leq 25$

Спосіб введення в топку газів рециркуляції	β_2
При спалюванні газу та мазуту і введенні:	
в черинь топки (при розташуванні пальників на вертикальних екранах)	0,002
через шліци під пальниками	0,015
по зовнішньому каналу пальників	0,020
у повітряному дутті	0,025
в розтин двох повітряних потоків	0,030
При спалюванні твердого палива ($T_{\phi} > 1400$ °С) і введенні:	
до первинної аеросуміші	0,010
у вторинне повітря	0,005

Таблиця 7Д. Розрахункові характеристики шахтних топок з похилими ґратами та топок швидкокісного горіння

Величина	Шахтні топки з похилими ґратами			Топки швидкокісного горіння	
	Торф кусковий, $W^p = 40\%$, $A^p = 0,6\%$	Відходи дерева, $W^p = 50\%$	Рубана тріска, $W^p = 50\%$	Подрібнені відходи і тирса, $W^p = 50\%$	
Питоме навантаження дзеркала горіння*, кВт/м ²	1280	580	5800...6960	2320...4640	
Питоме навантаження топкового об'єму, кВт/м ³	230...350				
Втрати теплоти від неповноти спалювання, %:	2	2	1	1	
	2	2	2	4/2	
Тиск повітря під ґратами, Па	600	800	700	1000	
Температура повітря дуття, °С	200...250				

* Менше значення – для парогенераторів з $D < 10$ т/год.
** Чисельник – для топок, що не обладнано засобами винесення.

Таблиця 8Д. Розрахункові характеристики камерних топок при спалюванні газу, мазуту та пилоподібного палива з твердим шлаковидаленням

Паливо	Питоме навантаження топкового об'єму, кВт/м ² , для котлів продуктивністю, т/год				Втрати теплоти від неповноти спалювання, %				Частка золи палива на виносі, %
	25	35	50	75...400	25	35	50	75...400	
Антрацитний штиб та напівантрацити	–	–	–	140	–	–	–	6...4	0
Пісне вугілля	–	–	–	160	–	–	–	2	
Кам'яне вугілля	255	210	185	175	5	3	2...3	1,0...1,5	0...0,5

25

Буре вугілля	290	245	210	185	3	1,5...2,0	1...2	0,5...1,0	0...0,5	25
Фрезерний торф	255	210	185	160						
Мазут	405			350						
Природний газ	465					0			0,5	–

* Менші втрати теплоти від механічної неповноти спалювання приймаються при спалюванні напівантрацитів та палив з $A^p < 1,4$.

** Приймаються для котлів продуктивністю < 75 т / год.

Таблиця 9Д. Гранична допустима концентрація шкідливих речовин в атмосфері населених пунктів

Забруднююча речовина	ГДК, мг/м³	
	максимально разова	середньодобова
Пил нетоксичний	0,5	0,15
Сірчистий ангідрид	0,5	0,05
Оксид вуглецю	3,0	1,0
Діоксид азоту	0,085	0,085
Сажа (кіптява)	0,15	0,05
Сірководень	0,008	0,008
Бенз[а]пірен	–	0,1 мкг / 100 м³
Пентоксид ванадію	–	0,002
Фтористі сполуки (по фтору)	0,02	0,005
Хлор	0,1	0,03

Таблиця 10Д. Приклад розрахунку питомих викидів і концентрації оксидів азоту при спалюванні твердого палива

Розрахункова величина	Формула або обґрунтування	БКЗ-420-140-5	ТПП-312
Марка вугілля	ТЗ на котел або експлуатаційні дані	Екібастузький СС	Донецький ГСП
Вміст азоту, %, у паливі	[6]	0,8	1,0
Теплота згорання, МДж/кг	[6]	15,87	20,94
Приведений вміст азоту в паливі, кг/ГДж	$N^п = 10 \cdot N^p / Q_n^p$	0,504	0,48
Тип пальників	Опис котла	Вихрові	Вихрові
Коефіцієнт надлишку повітря в пальниках	Тепловий розрахунок котла або експлуатаційні дані	1,2	1,13
Частка первинного повітря	[6]	0,3	0,26
Ступінь рециркуляції димових газів через пальники, %	Тепловий розрахунок котла або експлуатаційні дані	0,0	0,0
Температура за зоною активного горіння, К	Відносно до вказівок з проектування топок	1830	1930
Відношення швидкостей у вихідному перерізі пальників	Тепловий розрахунок котла або експлуатаційні дані	1,48	1,4
Присмоккти до топки та третинне дуття		0,0	0,05
Коефіцієнт надлишку повітря у зоні активного горіння	$\alpha_{a,r}^* = \alpha_n + 1/2 \Delta\alpha_t + \Delta\alpha_{СКД} + \Delta\alpha_3$	1,2	1,175
Вплив коефіцієнта надлишку повітря в пальниках	$(0,35\alpha_n + 0,4)^2 - ВХР;$ $(0,53\alpha_n + 0,12)^2 - ПРМ$	0,67	0,639
Вплив частки первинного повітря	$1,73 \alpha_1 + 0,48$	1,0	0,93

Вплив температури на утворення паливних оксидів азоту	$0,11\sqrt{T''_{a,г} - 1100}$	0,99	1,033
Вплив сумішоутворення в корені факела	$0,4\left(\frac{W_2}{W_1}\right)^2 + 0,32 \text{ (ВХР)};$ $0,98\left(\frac{W_2}{W_1}\right)^2 - 0,47 \text{ (ПРМ)}$	1,196	1,104
Паливні оксиди азоту, кг/ГДж	$K_{NO_2}^{II} = 0,7N^{II}\beta_{\alpha_n}\beta_{\alpha_i}\beta_{\beta_{\Gamma_n}}\beta_{\beta_{cm}}$	0,28	0,22
Повітряні оксиди азоту, кг/ГДж	Залежність Зельдовича [6]	0,022	0,114
Сумарне значення оксидів азоту, кг/ГДж	$K_{NO_2}^{II} = K_{NO_2}^{III} + K_{NO_2}^{II}$	0,302	0,334
Концентрація оксидів азоту за нормальних умов, г/м ³ ($\alpha = 1,4$)	$K_{NO_2} = C_{NO_2} V_{\Gamma} / Q_H^P$	0,84	0,93
Вплив рециркуляції через пальники	$1 - 0,016\sqrt{r_{\Gamma}}$	1,0	0,955

Приклади розрахунку концентрації оксидів азоту в процесі спалювання газу та мазуту при температурі повітря нижче 500 К (навантаження номінальне):

Вміст азоту в паливі N^p , %	– 0,0
Вид палива	– газ
Тип котла	– ПТВМ-100
Концентрація оксиду азоту $C_{NO_2}^I$, мг/м ³ , $\alpha = 1,02$	– 673
Коефіцієнт надлишку повітря α	– 1,03
Коефіцієнти:	
K_M	– 0,7
K_α	– 1,08
K_Π	– 0,68
Результати, мг/м ³ :	
C_{NO_x}	– 0,346
C'_{NO_x}	– 350,0
$C^p - C''$, мг/м ³	– 4,0
$(C^p - C^I) / C^I$	– 0,011

Таблиця 11Д. Значення нормальної функції розподілу

X	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$
–2,70	0,0035	–1,78	0,0375	–1,42	0,0778	–1,06	0,1446
–2,60	0,0047	–1,76	0,0392	–1,40	0,0808	–1,04	0,1492
–2,50	0,0062	–1,74	0,0409	–1,38	0,0838	–1,02	0,1539
–2,40	0,0082	–1,72	0,0427	–1,36	0,0869	–1,00	0,1587
–2,30	0,0107	–1,70	0,0446	–1,34	0,0901	–0,98	0,1635
–2,20	0,0139	–1,68	0,0465	–1,32	0,0934	–0,96	0,1685
–2,10	0,0179	–1,66	0,0485	–1,30	0,0968	–0,94	0,1736
–2,00	0,0228	–1,64	0,0505	–1,28	0,1003	–0,92	0,1788
–1,98	0,0239	–1,62	0,0526	–1,26	0,1038	–0,90	0,1841
–1,96	0,0250	–1,60	0,0548	–1,24	0,1075	–0,88	0,1894
–1,94	0,0262	–1,58	0,0571	–1,22	0,1112	–0,86	0,1949
–1,92	0,0274	–1,56	0,0594	–1,20	0,1151	–0,84	0,2005
–1,90	0,0288	–1,54	0,0618	–1,18	0,1190	–0,82	0,2061
–1,88	0,0301	–1,52	0,0643	–1,16	0,1230	–0,80	0,2119
–1,86	0,0314	–1,50	0,0668	–1,14	0,1271	–0,78	0,2177
–1,84	0,0329	–1,48	0,0694	–1,12	0,1314	–0,76	0,2236
–1,82	0,0344	–1,46	0,0721	–1,10	0,1357	–0,74	0,2297
–1,80	0,0359	–1,44	0,0749	–1,08	0,1401	–0,72	0,2358

Продовж. табл. 11Д

X	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$
-0,70	0,2420	0,00	0,5000	0,72	0,7642	1,44	0,9251
-0,68	0,2483	0,02	0,5080	0,74	0,7703	1,46	0,9279
-0,66	0,2546	0,04	0,5160	0,76	0,7764	1,48	0,9306
-0,64	0,2611	0,06	0,5239	0,78	0,7823	1,50	0,9332
-0,62	0,2676	0,08	0,5319	0,80	0,7881	1,52	0,9357
-0,60	0,2743	0,10	0,5398	0,82	0,7939	1,54	0,9382
-0,58	0,2810	0,12	0,5478	0,84	0,7995	1,56	0,9406
-0,56	0,2877	0,14	0,5557	0,86	0,8051	1,58	0,9429
-0,54	0,2946	0,16	0,5636	0,88	0,8106	1,60	0,9452
-0,52	0,3015	0,18	0,5714	0,90	0,8159	1,62	0,9474
-0,50	0,3085	0,20	0,5793	0,92	0,8212	1,64	0,9495
-0,48	0,3156	0,22	0,5871	0,94	0,8264	1,66	0,9515
-0,46	0,3228	0,24	0,5948	0,96	0,8315	1,68	0,9535
-0,44	0,3300	0,26	0,6026	0,98	0,8365	1,70	0,9554
-0,42	0,3372	0,28	0,6103	1,00	0,8413	1,72	0,9573
-0,40	0,3446	0,30	0,6179	1,02	0,8461	1,74	0,9591
-0,38	0,3520	0,32	0,6255	1,04	0,8508	1,76	0,9608
-0,36	0,3594	0,34	0,6331	1,06	0,8554	1,78	0,9625
-0,34	0,3669	0,36	0,6406	1,08	0,8599	1,80	0,9641
-0,32	0,3745	0,38	0,6480	1,10	0,8643	1,82	0,9656
-0,30	0,3821	0,40	0,6554	1,12	0,8686	1,84	0,9671
-0,28	0,3897	0,42	0,6628	1,14	0,8729	1,86	0,9686
-0,26	0,3974	0,44	0,6700	1,16	0,8770	1,88	0,9699
-0,24	0,4052	0,46	0,6772	1,18	0,8810	1,90	0,9713
-0,22	0,4129	0,48	0,6844	1,20	0,8849	1,92	0,9726
-0,20	0,4207	0,50	0,6915	1,22	0,8888	1,94	0,9738
-0,18	0,4286	0,52	0,6985	1,24	0,8925	1,96	0,9750
-0,16	0,4364	0,54	0,7054	1,26	0,8962	1,98	0,9761
-0,14	0,4443	0,56	0,7123	1,28	0,8997	2,00	0,9772
-0,12	0,4522	0,58	0,7190	1,30	0,9032	2,10	0,9821
-0,10	0,4602	0,60	0,7257	1,32	0,9066	2,20	0,9861
-0,08	0,4681	0,62	0,7324	1,34	0,9099	2,30	0,9893
-0,06	0,4761	0,64	0,7389	1,36	0,9131	2,40	0,9918
-0,04	0,4840	0,66	0,7454	1,38	0,9162	2,50	0,9938
-0,02	0,4920	0,68	0,7517	1,40	0,9192	2,60	0,9953
-0,00	0,5000	0,70	0,7580	1,42	0,9222	2,70	0,9965

ЗМІСТ

Вступ	3
Загальні положення	5
Тематичний план дисципліни "Екологічні проблеми тепло- енергетики"	6
Зміст дисципліни та рекомендації до її вивчення.....	6
Контрольні питання з дисципліни	10
Склад контрольних робіт та варіанти завдань	20
Методичні вказівки до виконання розрахункових завдань ..	25
Рекомендована література	55
Додаток	56

Навчальне видання

**РАТУШНЯК Ігор Олександрович
СЕМЕНОВ Микола Миколайович**

"ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ"

**Методичні вказівки
для студентів заочної форми навчання**

(українською мовою)

Редактор М.П. Фоміна
Комп'ютерна правка та верстка Н.В. Ялова
Коректор М.О. Паненко

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру
видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції
ДК № 2506 від 25.05.2006 р.

Підписано до друку 29.08.07. Папір офсетний. Формат 60×84/16.
Друк офсетний. Гарнітура "Таймс". Ум. друк. арк. 3,8. Обл.-вид. арк. 4,1.
Тираж 100 прим. Вид. № 35. Зам. № 91. Ціна договірна

Видавець і виготівник Національний університет кораблебудування,
54002, м. Миколаїв, вул. Скороходова, 5



ВИДАВНИЦТВО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ



Шановні панове!

Запрошуємо Вас ознайомитись з можливостями книжкового видавництва, висококваліфіковані спеціалісти якого забезпечать оперативне та якісне виконання замовлення будь-якого рівня складності.

Наш головний принцип – задовольнити потреби замовника в повному комплексі поліграфічних послуг, починаючи з розробки та підготовки оригіналу-макета, що виконується на базі IBM PC, і закінчуючи друком на офсетних машинах.

Крім цього, ми маємо повний комплекс післядрукарського обладнання, що дає можливість виконувати:

- ✓ аркушепідбір;
- ✓ брошурування на скобу, клей;
- ✓ порізку на гільйотинах;
- ✓ ламінування.

Видавництво також оснащено сучасним цифровим дублюкатором фірми "Duplo" формату А3, що дає можливість тиражувати зі швидкістю до 130 копій за хвилину.

Для постійних клієнтів – гнучка система знижок.

Отже, якщо вам потрібно надрукувати **підручники, книги, брошури, журнали, каталоги, рекламні листівки, прайс-листи, бланки, візитні картки**, – ми до Ваших послуг.

© Національний університет кораблебудування

✉ Україна, 54002, м. Миколаїв, вул. Скороходова, 5,

видавництво НУК

☎ 8(0512) 47-83-86; 39-81-42, 39-73-39, fax 8(0512) 42-46-52;

E-mail: publishing@usmtu.edu.ua