**Міністерство освіти і науки України**

**Запорізька державна інженерна академія**



**О.М.Назаренко**

Захист навколишнього середовища

**Методичні вказівки**

**для виконання контрольних робіт**

***для студентів ЗДІА***

***спеціальності 7.090570 “Теплоенергетика”***

**Запоріжжя**

**2006**

# Міністерство освіти і науки України

Запорізька державна інженерна академія

Захист навколишнього середовища

**Методичні вказівки**

**для виконання контрольних робіт**

***для студентів ЗДІА***

***спеціальності 7.090570 “Теплоенергетика”***

*Рекомендовано до видання*

*на засіданні кафедри ТЕ,*

*протокол № від 30.06.06 р.*

**Захист навколишнього середовища.** Методичні вказівки для виконання контрольних робіт для студентів ЗДІА спеціальності 7.090570 “Теплоенергетика” /Укл.: О.М.Назаренко – Запоріжжя, 2006. – 30 с.

Методичні вказівки призначені для студентів спеціальності “Теплоенергетика”, які виконують самостійні роботи та контрольні роботи по курсу “Захист навколишнього середовища”. Вказівки містять практичні заняття, базові теми для обговорення, список рекомендованої літератури для підготовки.

Укладач: **О.М.Назаренко, *доцент***

Відповідальний за випуск : ***зав. кафедрою ТЕ***

***професор І.Г.Яковлєва***

Рецензент: **зав.каферою ОП та ЕМВ**

**доцент, к.т.н. Г.Б.Кожемякін**

Охорона навколишнього природного середовища, раціональне використання природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки життєдіяльності людини - невід'ємна умова сталого економічного та соціального розвитку України.

З цією метою Україна здійснює на своїй території екологічну політику, спрямовану на збереження безпечного для існування живої і неживої природи навколишнього середовища, захисту життя і здоров'я населення від негативного впливу, зумовленого забрудненням навколишнього природного середовища, досягнення гармонійної взаємодії суспільства і природи, охорону, раціональне використання і відтворення природних ресурсів.

Цей Закон визначає правові, економічні та соціальні основи організації охорони навколишнього природного середовища в інтересах нинішнього і майбутніх поколінь. Згідно статей 1- 22 Закону України про охорону навколишнього природного середовища (№ 1264-XII від 25 червня 1991) року основними принципами охорони навколишнього природного середовища є:

а) пріоритетність вимог екологічної безпеки, обов'язковість додержання екологічних стандартів, нормативів та лімітів використання природних ресурсів при здійсненні господарської, управлінської та іншої діяльності;

б) гарантування екологічно безпечного середовища для життя і здоров'я людей;

в) запобіжний характер заходів щодо охорони навколишнього природного середовища;

г) екологізація матеріального виробництва на основі комплексності рішень у питаннях охорони навколишнього природного середовища, використання та відтворення відновлюваних природних ресурсів, широкого впровадження новітніх технологій;

д) збереження просторової та видової різноманітності і цілісності природних об'єктів і комплексів;

е) науково обгрунтоване узгодження екологічних, економічних та соціальних інтересів суспільства на основі поєднання міждисциплінарних знань екологічних, соціальних, природничих і технічних наук та прогнозування стану навколишнього природного середовища;

є) обов'язковість екологічної експертизи;

ж) гласність і демократизм при прийнятті рішень, реалізація яких впливає на стан навколишнього природного середовища, формування у населення екологічного світогляду;

з) науково обгрунтоване нормування впливу господарської та іншої діяльності на навколишнє природне середовище;

и) безоплатність загального та платність спеціального використання природних ресурсів для господарської діяльності;

к) стягнення збору за забруднення навколишнього природного середовища та погіршення якості природних ресурсів, компенсація шкоди, заподіяної порушенням законодавства про охорону навколишнього природного середовища;

л) вирішення питань охорони навколишнього природного середовища та використання природних ресурсів з урахуванням ступеня антропогенної зміненості територій, сукупної дії факторів, що негативно впливають на екологічну обстановку;

й) поєднання заходів стимулювання і відповідальності у справі охорони навколишнього природного середовища;

к) вирішення проблем охорони навколишнього природного середовища на основі широкого міждержавного співробітництва. (Стаття 3 із змінами, внесеними згідно із Законом N [186/98-вр](javascript:OpenDoc('186/98-вр');) від 05.03.98).

Згідно з цими позиціями студентам пропонується провести реалістичний розрахунок валових викидів та показників емісії забруднюючих речовин в енергетичних установках на прикладах рідкого, твердого та газообразного видів палива.

**Визначення**

При спалюванні органічного палива в енергетичній установці в атмосферне повітря разом з димовими газами надходять забруднювальні речовини та парникові гази. Визначення викиду забруднювальної речовини базується на використанні показника емісії. Показник емісії характеризує масову кількість забруднювальної речовини, що викидається енергетичною установкою в атмосферне повітря разом з димовими газами, віднесену до одиниці енергії, яка виділяється при згорянні палива. Він залежить від багатьох чинників, тому існує два його типа: узагальнений та специфічний.

**Узагальнений показник емісії**

є середньою питомою величиною викиду для певної категорії енергетичних установок, певної технології спалювання палива, певного виду палива з урахуванням заходів щодо зниження викиду забруднювальної речовини. Він не враховує особливості хімічного складу палива.

**Специфічний показник емісії**

є питомою величиною викиду, яка визначається для конкретної енергетичної установки з урахуванням індивідуальних характеристик палива, конкретних характеристик процесу спалювання та заходів щодо зниження викиду забруднювальної речовини.

Викид забруднювальної речовини за певний період є добутком показника емісії, кількості палива, яке введено до енергетичної установки за той же період і пройшло термічну обробку, та нижчої робочої теплоти згоряння.

При наявності обох типів показника емісії забруднювальної речовини необхідно використовувати специфічний.

До переліку забруднювальних речовин і парникових газів, для яких визначається потомий показник викиду, увійшли:

* речовини у вигляді суспендованих твердих частинок;
* оксиди сірки (SОx) у перерахунку на діоксид сірки або сірчистий ангідрид (SО2);
* оксиди азоту (NОx) у перерахунку на діоксид азоту (NО2);
* оксид вуглецю (СО);
* діоксид вуглецю (CO2);
* важкі метали та їх сполуки;
* метан (CH4);
* оксид азоту (I) або закис азоту (N2O).

Показник емісії забруднювальної речовини може бути визначено на основі:

* постійного вимірювання [концентрації](file:///F:\efe\efactor.htm) забруднювальної речовини у димових газах енергетичної установки; парам
* характеристик використаного органічного [палива](file:///F:\efe\fuel.htm), параметрів енергетичної та газоочисних установок.

За цією методикою будуть розраховані показники емісії, коли спалюється:

* Тверде паливо;
* Рідке паливо;
* Газоподібне паливо.

У своїй контрольній роботі студент знайомиться з переліком забруднюючих речовин, які зустрічаються на промислових підприємствах теплоенергетичного напрямку. Для вирішення поставленних задач необхідно висвітлити знання предметів „Вища математика”, „Хімія”, „Захист навколишнього середовища від викидів ТЕС”.

1. **Розрахунок показника емісії**

Необхідно використовувати інформацію про концентрацію забруднювальної речовини в димових газах, питомий об'єм димових газів та теплоту згоряння використаного палива:

,

де kЕ  - показник емісії,   г/ГДж;

*ce*(α) - концентрація забруднювальної речовини при виміряному коефіцієнті надлишку повітря α**;**

*vДГ*(α) - питомий об'єм димових газів при тому ж коефіцієнті надлишку повітря, нм³/кг;

*Qir -* нижча робоча теплота згоряння палива, МДж/кг.

**2. Розрахунок показника емісії вуглекислого газу**

При спалюванні органічного палива в енергетичній установці може утворюватися монооксид вуглецю, але він неодмінно в атмосфері перетвориться у діоксид вуглецю. Тому при розрахунку показника емісії CO2 вважають, що весь вуглець палива, який згорів, перетворюється у вуглекислий газ.

Показник емісії вуглекислого газу при спалюванні органічного палива визначається за формулою:



або



де *kCO2 -* показник емісії діоксиду вуглецю, г/гДж;

*Qir=* 20,89 - нижча робоча теплота згоряння палива, *МДж/кг*;

*Cr =* 59,89 *-* масовий вміст вуглецю в робочій масі палива, %;

ε*C = 0,99 -* ступінь окислення вуглецю палива;

*kC = 26800 -* показник емісії вуглецю палива, г/гДж.

**3. Визначення діоксиду вуглецю**

Специфічний показник емісії вуглецю є відношення вмісту вуглецю палива до його теплоти згоряння.

,

*де kC –* показник емісії вуглецю палива, г/гДж;

*Qir –* нижча робоча теплота згоряння палива, МДж/кг

*Cr -* масовий вміст вуглецю в робочій масі палива, %.

**4.Визначення ступеню окислення вуглецю**

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

,

де *Cr –* масовий вміст вуглецю в робочій масі палива, %;

*Ar –* масовий вміст золи в робочій масі палива, %;

*aвин –* частка золи, яка виноситься з котла у вигляді леткої золи,

Γ*вин –* масовий вміст горючих речовин у викидах твердих частинок, %;

Γ*шл -* масовий вміст горючих речовин у шлаці, %.

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

Для конкретної енергетичної установки може бути визначений специфічний показник емісії оксиду вуглецю на основі актів випробувань енергетичної установки.

Вуглекислий газ CO2 відноситься до парникових газів. Він є основним газоподібним продуктом окислення вуглецю органічного палива. Обсяг викиду CO2 безпосередньо пов'язаний з вмістом вуглецю у паливі та ступенем окислення вуглецю палива в газову фазу в енергетичній установці.

**5. Визначення метану**

Метан (CH4) є парниковим газом. Утворення метану при спалюванні органічного палива в енергетичних установках дуже незначне. Воно пов'язане з неповним згорянням органічного палива і зменшується з ростом температури згоряння та масштабу енергетичної установки. Основним методом визначення викидів метану є вимірювання концентрації метану.

Для конкретної енергетичної установки може бути визначений специфічний показник емісії метану на основі активних випробувань енергетичної установки.

*kCH4 -* показник емісії метану.

**6. Визначення твердих частинок.**

Показник емісії твердих частинок визначається як специфічний і розраховуєтся за формулою:



або 

,

де *Qir -* нижча робоча теплота згоряння палива;

*aвин -* частка золи, яка виноситься з котла у вигляді леткої золи, %;

*Ar -* масовий вміст золи в робочій масі палива; %;

Γ*вин -* масовий вміст горючих речовин у викидах твердих частинок; %;

η*зу -* ефективність очистки димових газів від твердих частинок;

*q*4 - втрати тепла через механічний недопал палива;

*QС = 32,657-* теплота згоряння вуглецю до CO2, МДж/кг;

*kтвS -* показник емісії твердих продуктів взаємодії сорбенту та оксидів сірки і твердих частинок сорбенту, г/ГДж.

**7. Визначення твердих частинок в сорбенту.**

При використанні сорбенту для зв'язування оксидів сірки в топці котла або камері згоряння (наприклад, за технологіями спалювання палива в киплячому шарі) чи при застосуванні технологій сухого або напівсухого зв'язування оксидів сірки утворюються тверді частинки сульфату та сульфіту і невикористаного сорбенту. Показник емісії твердих частинок невикористаного в енергетичній установці сорбенту та утворених сульфатів і сульфітів розраховується за формулою:

,

де Qir - нижча робоча теплота згоряння палива, МДж/кг;

Sr - вміст сірки в робочій масі палива, %;

ηi - ефективність зв'язування сірки сорбентом в топці або при застосуванні сухих та напівсухих методів десульфуризації димових газів;

μпрод - молекулярна маса твердого продукту взаємодії сорбенту та оксидів сірки;

μS = 32,06 - молекулярна маса сірки, кг/моль;

m = 2,5 - молярне відношення активного хімічного елементу сорбенту та сірки;

μсорб = 32,0 - молекулярна маса сорбенту, кг/кмоль;

aвин =0,85 - частка золи, яка виноситься з котла у вигляді леткої золи;

η зу =0,99 - ефективність очистки димових газів від твердих частинок.

**Алгорітм визначення.**

За цією методикою будуть розраховані показники емісії, коли спалюється

|  |  |
| --- | --- |
| * + тверде паливо;   + рідке паливо;   + газоподібне паливо | Виберіть вид палива, для якого будуть розраховані показника емісії |

Для розрахунку показника емісії необхідно використовувати інформацію про концентрацію забруднювальної речовини в димових газах, питомий об'єм димових газів та теплоту згоряння використаного палива:



де *ce*(α) - концентрація забруднювальної речовини при виміряному коефіцієнті надлишку повітря α**,** мг/нм3;

*vдг*(α) - питомий об'єм димових газів при тому ж коефіцієнті надлишку повітря, нм3/кг;

*Qir* - нижча робоча теплота згоряння палива, МДж/кг.

**8. Визначення об’єму димових газів**

Питомий об'єм сухих димових газів, які утворюються при повному згорянні палива, визначається на підставі даних про масовий елементний склад робочої маси палива та витрати повітря для його спалювання у відповідності з стехіометричними співвідношеннями між паливом та повітрям. Для газоподібного палива [перерахунок об'ємного вмісту](file:///D:\Мои%20документы\NAZARENK\AL\PTE\Lector\Защита-ОС\Метод-контр\диск\EFE\gasreca.htm) його компонентів (індивідуальних газів) в масовий вміст хімічних елементів горючої маси приведено у [5]. Формули [перерахунку складу палива](file:///D:\Мои%20документы\NAZARENK\AL\PTE\Lector\Защита-ОС\Метод-контр\диск\EFE\fuelreca.htm) з робочої маси палива на суху та горючу (суху беззольну) і навпаки приведено у [8].

При спалюванні палива можливе його неповне згоряння, у першу чергу механічний недопал, в наслідок чого до викидів твердих частинок та шлаку потрапляють горючі речовини, головним чином вуглець.

*vдг*—питомий об'єм сухих димових газів при стандартному вмісті кисню; нм3/кг;

*Cr*= 59,89 - масовий вміст вуглецю в робочій масі палива, %;

*Hr* = 1,15 - масовий вміст водню в робочій масі палива, %;

*Or*= 0,15 - масовий вміст кисню в робочій масі палива, %;

*Nr*= 0,96 - масовий вміст азоту в робочій масі палива, %;

*Sr*= 1,54 - масовий вміст сірки в робочій масі палива, %;

*Ar*= 27,45 - масовий вміст золи в робочій масі палива, %;

*Wr*= 8,5 - масовий вміст вологи в робочій масі палива, %;

*aвин*= 0,85 - частка золи, яка виноситься з котла у вигляді леткої золи;

*Γвин= 10 -* масовий вміст горючих речовин у викидах твердих частинок, %;

*Γш* = 1 - масовий вміст горючих речовин у шлаці, %.

**9. Перерахунок маси палива**

Складові палива можуть бути перераховані на робочу масу, на суху масу (коли в паливі відсутня волога), на суху беззольну або горючу масу (коли в паливі відсутня негорюча частина — зола та волога).

Формули перерахунку складу палива з робочої маси палива на суху та горючу (суху беззольну) і навпаки приведено у [5] та нижчої теплоти згоряння у [8].

Необхідно визначити вихідну масу палива:

*Cx*= 93,5 - масовий вміст вуглецю в паливі, %;

*Hx*= 1,8 - масовий вміст водню в  паливі, %;

*Ox*= 1,5 - масовий вміст кисню в паливі, %;

*Nx*= 0,8 - масовий вміст азоту в паливі, %;

*Sx*= 2,4 - масовий вміст сірки в паливі, %;

*Ax* = 30 - масовий вміст золи в паливі, %;

*Wx* = 8,5 - масовий вміст вологи в паливі, %;

*Qx*= 32,95 - нижча теплота згоряння паливі, МДж/кг.

Слідуючим ступенем роботи треба визначитися з кінцевою масою палива (робочою, сухою, горючою) та записати характеристики палива.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметр | С, % | Н,% | О,% | N,% | S,% | A,% | W,% | Q, МДж/кг |
| Значення |  |  |  |  |  |  |  |  |

**10.** **Визначення масового складу природного газу**

У методиці для визначення показників емісії та питомого об'єму використовуються масові характеристики палива — масовий елементний склад, масова теплота згоряння, густина палива. Тому для газоподібного палива об'ємні характеристики необхідно перерахувати у масові.

*vCH4*=98,9 - об'ємний вміст метану в робочій масі палива, %;

*vC2H6*=0,3 - об'ємний вміст етану в робочій масі палива, %;

*vC3H8*=0,1 - об'ємний вміст пропану в робочій масі палива, %;

*vC4H10*=0,1 - об'ємний вміст бутану в робочій масі палива, %;

*vC5H12*=0 - об'ємний вміст пентану в робочій масі палива, %;

*vH2S*=0 - об'ємний вміст сірководню в робочій масі палива, %;

*vN2*=0,4 - об'ємний вміст азоту в робочій масі палива, %;

*vCO2*=0,2 - об'ємний вміст вуглекислого газу в робочій масі палива, %;

*Qir*=35,0 - нижча робоча теплота згоряння палива, МДж/нм3.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | Масові характеристики природного газу | | | | | | | | | **П**араметр | C, % | H, % | O, % | N, % | S, % | Q, МДж/кг | ρ, кг/нм³ | | Значення |  |  |  |  |  |  |  | |

# **11. Визначення вмісту важких металів.**

Викид важких металів та їх сполук пов'язаний з наявністю в мінеральній частині палива сполук важких металів. До важких металів, сполуки яких найбільш шкідливі для навколишнього середовища, віднесено: арсен (**As**), кадмій (**Cd**), хром (**Cr**), мідь (**Cu**), ртуть (**Hg**), нікель (**Ni**), свинець (**Pb**), селен (**Se**), цинк (**Zn**). При спалюванні мазуту або важкого дизельного палива до важких металів цієї групи віднесено також ванадій (**V**) та його сполуки. У частинках леткої золи більшість цих елементів зустрічається у вигляді оксидів і хлоридів. У газоподібних викидах можлива присутність ртуті, селену та арсену, які частково випаровуються з палива.

Показники емісії важких металів для:

# 11.1 Визначення вмісту важких металів для твердого палива.

При спалюванні вугілля показник емісії важкого металу є специфічним і визначається за формулою:



де *cвм*—масовий вміст важкого металу у паливі; мг/кг;

*Qir* = 20,89 - нижча робоча теплота згоряння палива, МДж/кг;

*aвин* = 0,85 - частка золи, яка виноситься з котла у вигляді леткої золи;

ƒ*зб* = 1,0 - коефіцієнт збагачення важкого металлу;

η*зу* = 0,99 - ефективність очистки димових газів від твердих частинок;

ƒ*г* = 0 - частка важкого металу, яка виходить у газоподібній формі;

η*гзу* = 0 - ефективність уловлення газоподібної фракції важкого металу в золоуловлювальній установці.

# 11.2 Визначення вмісту важких металів для газоподібного палива.

При спалюванні в енергетичній установці газоподібного палива може виділятися в незначній кількості в газоподібній формі ртуть та її сполуки.

Показник емісії ртуті є узагальненим і розраховується за формулою:



де (*kHg*)0—показник емісії ртуті без використання золоуловлювальної установки, г/ГДж;

η*гзу* = 0,99 - ефективність уловлення ртуті в золоуловлювальній установці.

# 11.3 Визначення вмісту важких металів для рідкого палива.

При спалюванні в енергетичній установці мазуту або важкого дизельного палива утворюються сполуки важких металів, які є складовими мазутної золи. Сполуки ванадію відносяться до основних складових мазутної золи. Тому кількість викиду ванадію прийнято за контрольний параметр шкідливої дії мазутної золи на довкілля.

Показник емісії мазутної золи у перерахунку на ванадій є специфічним і розраховується за формулою:



для розрахунку показника емісії п'ятиоксиду ванадію (V2O5), як забруднювальної речовини, необхідно показник емісії мазутної золи у перерахунку на ванадій помножити на відношення молекулярних мас п'ятиоксиду ванадію та ванадію:

,

де *kV2O*—показник емісії п'ятиоксиду ванадію, г/ГДж;

*cV*—масовий вміст ванадію в паливі, мг/кг;

*Qir* = 20,89 - нижча робоча теплота згоряння палива, МДж/кг;

η*ос* = 0,99 - частка ванадію, що осідає з твердими частинками на поверхнях нагріву котла;

η*зу(V)* = 0,99 - ефективність уловлення ванадію золоуловлювальною установкою;

μ*V2O5* = 181,877 - молекулярна маса п'ятиоксиду ванадію, кг/кмоль;

μ*V* = 50,941 - молекулярна маса ванадію, кг/кмоль.

12. Визначення навантаження оксиду азоту.

При роботі енергетичної установки на низькому навантаженні зменшується температура процесу горіння палива, завдяки чому скорочується викид оксидів азоту. Ступень зменшення викиду NOx при роботі на низькому навантаженні визначається за емпіричної формулою:



де *Qф* = 1,0 - фактична теплова потужність енергетичної установки; МВт;

*Qн* = 1,0 - номінальна теплова потужність енергетичної установки; МВт;

*Z* = 1,0 - емпіричний коефіцієнт, який залежить від виду енергетичної установки, її потужності, типу палива.

# 13. Визначення закису азоту

Оксид діазоту (або закис азоту) N2O відноситься до парникових газів. Основним методом визначення викидів N2O є вимірювання концентрації оксиду діазоту.

Для конкретної енергетичної установки може бути визначений специфічний показник емісії оксиду діазоту на основі актів випробувань енергетичної установки.

*kN2O*—показник емісії закису азоту, г/ГДж.

# 14. Визначення оксиду азоту

При спалюванні органічного палива утворюються оксиди азоту NOx (оксид азоту NO та діоксид азоту NO2), викиди яких визначається у перерахунку на NO2. Показник емісії оксидів азоту розраховується:



*де* (*kNOx*)0 = 800,0 - показник емісії оксидів азоту без урахування заходів скорочення викиду, г/ГДж;

*ƒн* = 1,0 - ступінь зменшення викиду NOx при роботі на низькому навантаженні;

η*I* = 0,0 - ефективність первинних (режимно-технологічних) заходів скорочення викиду;

η*II* = 0,0 - ефективність вторинних заходів (азотоочисної установки);

β = 1,0 - коефіцієнт роботи азотоочисної установки.

# 15. Визначення діоксиду сірки

Показник емісії оксидів сірки SO2 та SO3, у перерахунку на діоксид сірки SO2, які надходять в атмосферу з димовими газами, є специфічним і розраховується за формулою:



де *Qir* = 20,89 - нижча робоча теплота згоряння палива, МДж/кг;

*S r* = 1,54 - масовий вміст сірки в робочій масі палива, %;

η*I* = 0,0 - ефективність зв'язування сірки золою або сорбентом в енергетичній установці;

η*II* = 0,0 - ефективність очистки димових газів від оксидів сірки;

β = 1,0 - коефіцієнт роботи сіркоочисної установки.

# 16. Визначення вмісту ванадію

Масовий вміст ванадію у мазуті визначається за результатами хімічного аналізу мазуту або розраховується за приблизною формулою:



де *Ar* = 5,45 - масовий вміст золи в робочій масі палива, %.

# 17. Визначення ефективності очистки від важких металів

Ефективність очистки димових газів від мазутної золи (у перерахунку на ванадій) в газомазутних котлах батарейними циклонами, які спеціально застосовуються для цього, визначається за емпіричною формулою, що діє в діапазоні значень ефективності пилоочистки циклону 0.65…0.85:





де η*зу(V)*—ефективність уловлення ванадію золоуловлювальною установкою;

η*зу* = 0,99 - ефективність очистки димових газів від твердих частинок;

ƒ*V* = 1,0 - емпіричний коефіцієнт, який враховує ефект "збагачення" ванадієм золи, що виходить після золоуловлювальної установки, і залежить від типу золоуловлювальної установки.

18. **Підсумкова таблиця визначення коефіцієнтов емісії**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Забруднювальна речовина** | **Одиниця виміру** | **Паливо** | | |
| **тверде** | **рідке** | **газоподібне** |
| Тверді частинки | г/ГДж |  |  |  |
| Діоксид сірки (SO2) | г/ГДж |  |  |  |
| Оксиди азоту (NOx) | г/ГДж |  |  |  |
| Моноксид вуглецю (CO) | г/ГДж |  |  |  |
| Діоксид вуглецю (CO2) | г/ГДж |  |  |  |
| Важкі метали |  | | | |
| арсен (As) | г/ГДж |  |  |  |
| кадмій (Cd) | г/ГДж |  |  |  |
| хром (Cr) | г/ГДж |  |  |  |
| мідь (Cu) | г/ГДж |  |  |  |
| ртуть (Hg) | г/ГДж |  |  |  |
| нікель (Ni) | г/ГДж |  |  |  |
| свинець (Pb) | г/ГДж |  |  |  |
| селен (Se) | г/ГДж |  |  |  |
| цинк (Zn) | г/ГДж |  |  |  |
| ванадій (V) | г/ГДж |  |  |  |
| п'ятиоксид ванадію (V2O5) | г/ГДж |  |  |  |
| Метан (CH4) | г/ГДж |  |  |  |
| Закис азоту (N2O) | г/ГДж |  |  |  |

19. **Підсумкова таблиця визначення валових викидів**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Забруднювальна речовина** | **Одиниця виміру** | **Паливо** | | | **Разом** |
| **тверде** | **рідке** | **газоподібне** |
| Тверді частинки | т |  |  |  |  |
| Діоксид сірки (SO2) | т |  |  |  |  |
| Оксиди азоту (NOx) | т |  |  |  |  |
| Моноксид вуглецю (CO) | т |  |  |  |  |
| Діоксид вуглецю (CO2) | т |  |  |  |  |
| Важкі метали |  | | | | |
| арсен (As) | т |  |  |  |  |
| кадмій (Cd) | т |  |  |  |  |
| хром (Cr) | т |  |  |  |  |
| мідь (Cu) | т |  |  |  |  |
| ртуть (Hg) | т |  |  |  |  |
| нікель (Ni) | т |  |  |  |  |
| свинець (Pb) | т |  |  |  |  |
| селен (Se) | т |  |  |  |  |
| цинк (Zn) | т |  |  |  |  |
| ванадій (V) | т |  |  |  |  |
| п'ятиоксид ванадію (V2O5) | т |  |  |  |  |
| Метан (CH4) | т |  |  |  |  |
| Закис азоту (N2O) | т |  |  |  |  |

**Додатки**

Додаток А.

Аналіз складу українського вугілля (понад 130 шахт та вуглезбагачувальних фабрик [2]) показав, що залежність питомого об'єму сухих димових газів vдг від нижчої теплоти згоряння Qir може бути апроксимована рівнянням виду (*vдг*/Qir) = *a*+*b*·Qir. За даними [8, 10] отримано коефіцієнти рівнянь та середні значення (*vдг*/Qir) для робочої маси палива. Значення величин надані в Таблиці А.1.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Таблиця А.1 Коефіцієнти рівняння для питомого об'єму сухих димових газів | | | | | | |
| **Паливо** | | **Марка** | **O2, %** | **a** | **b** | **(*vдг*/Qir)** |
| Тверде | Вугілля | А | 6 | 0.3989 | -0.0012 | 0.374 |
| Т | 6 | 0.3957 | -0.0013 | 0.365 |
| Ж | 6 | 0.3718 | -0.0003 | 0.366 |
| Г | 6 | 0.3868 | -0.0011 | 0.365 |
| (Л-В) Г | 6 | 0.3789 | -0.0007 | 0.366 |
| Д | 6 | 0.3899 | -0.0012 | 0.367 |
| Б | 6 | 0.5166 | -0.0117 | 0.427 |
| Костриця льняна |  | 6 |  |  | 0.297 |
| Лузга соняшникова |  | 6 |  |  | 0.286 |
| Лузга рисова |  | 6 |  |  | 0.245 |
| Відходи деревини (W=30%) |  | 6 |  |  | 0.257 |
| Рідке | Мазут |  | 6/3 |  |  | 0.353/0.292 |
| Дизельне пальне |  | 6/3 |  |  | 0.340/0.283 |
| Газоподібне | Природний газ |  | 6/3 | 0.3689/0.3097 | -0.0007 | 0.345/0.285 |
| Коксовий газ |  | 6/3 |  |  | 0.315/0.362 |
| Доменний газ |  | 6/3 |  |  | 0.408/0.340 |

При використанні цих рівнянь необхідно пам'ятати про те, що коефіцієнтів для палив, які увійшли до таблиці, є узагальнені і можуть не відповідати конкретному паливу, особливо, коли використовуються суміші палив. Вони впевнено можуть бути застосовані для попередньої оцінки або прогнозування викидів.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Таблиця А.2 Частка леткої золи при різних технологіях спалювання палива [4,9] | | |
| **Котел:** | **Вугілля** | **Мазут** |
| - з твердим (сухим) шлаковидаленням | 0.95 | 1.00 |
| - відкрита топка з рідким шлаковидаленням | 0.80 | 1.00 |
| - напіввідкрита топка з рідким шлаковидаленням | 0.70 | 1.00 |
| - двокамерна топка | 0.55 | 1.00 |
| - з вертикальним передтопком | 0.30 | 1.00 |
| - горизонтальна циклонна | 0.15 | 1.00 |
| - з киплячим шаром | 0.50 | - |
| - з нерухомим шаром | 0.15 | - |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Таблиця А.3 Ефективність зв'язування оксидів сірки золою або сорбентом в топці | | |
| **Технологія спалювання** | **ηI** | **Примітка** |
| Факельне спалювання вугілля в котлах з рідким шлаковидаленням | 0.05 | Зв'язування золою палива |
| Факельне спалювання вугілля в котлах з твердим шлаковидаленням | 0.10 | Зв'язування золою палива |
| Факельне спалювання мазуту в котлах | 0.02 | Зв'язування золою палива |
| Спалювання у киплячому шарі | 0.95 | Зв'язування сорбентом в котлі при мольному співвідношенні Ca/S *m* = 2.5 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Таблиця А.4 Параметри сіркоочисної установки [2] | | |
| **Технологія десульфуризації димових газів** | **Ефективність ηII** | **Коефіцієнт роботи β** |
| Мокра очистка - в [скрубері](javascript:void(0);) з використанням вапняку (вапна) або доломіту з одержанням гіпсу | 0.95 | 0.99 |
| Мокра очистка - процес Веллмана-Лорда з використанням солей натрію | 0.97 | 0.99 |
| Мокра очистка - процес Вальтера з використанням аміачної води | 0.88 | 0.99 |
| Напівсуха очистка - розпилення крапель суспензії або розчину сорбенту в реакторі (технології ESOX, GSA, Niro Atomizer…) | 0.90 | 0.99 |
| Суха очистка - інжекція сухого сорбенту (DSI) | 0.45 | 0.98 |
| Напівсуха очистка - процес LIFAC, як розвиток процесу DSI з розпилом крапель води | 0.80 | 0.98 |
| Напівсуха очистка - процес Lurgi CFB (з використанням реактора циркулюючого киплячого шару) з розпилом крапель води | 0.90 | 0.99 |
| Суха очистка - абсорбція активованим вугіллям | 0.95 | 0.99 |
| Каталітична очистка від оксидів сірки і азоту (DESONOX, SNOX) | 0.95 | 0.99 |

Для мокрих золоуловлювальних установок - мокрих скруберів типу МС та МВ - величина ηII відмінна від нуля. Вона залежить від загальної лужності води на зрошення та від приведеного вмісту сірки у паливі S'. Приведений вміст сірки є відношення масового вмісту сірки на робочу масу палива до нижчої робочої теплоти згоряння палива (S' = Sr/Qir).

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Таблиця А.4 Ефективність уловлення оксидів сірки ηII при золоочистці в мокрому скрубері [4] | | | |
| **Приведений вміст сірки, %/(МДж/кг)** | **Лужність води на зрошення, мг-екв/дм³** | | |
| **0** | **5** | **10** |
| 0.01 | 0.0250 | 0.1450 | 0.3000 |
| 0.02 | 0.0220 | 0.0850 | 0.1680 |
| 0.03 | 0.0195 | 0.0520 | 0.1010 |
| 0.04 | 0.0180 | 0.0390 | 0.0660 |
| 0.05 | 0.0175 | 0.0300 | 0.0520 |
| 0.06 | 0.0170 | 0.0260 | 0.0430 |
| 0.07 | 0.0165 | 0.0215 | 0.0350 |
| 0.08 | 0.0160 | 0.0200 | 0.0300 |
| 0.09 | 0.0155 | 0.0190 | 0.0275 |
| 0.10 | 0.0150 | 0.0180 | 0.0230 |
| 0.11 | 0.0145 | 0.0170 | 0.0205 |
| 0.12 | 0.0135 | 0.0160 | 0.0200 |
| 0.13 | 0.0130 | 0.0150 | 0.0185 |
| 0.18 | 0.0120 | 0.0120 | 0.0120 |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Таблиця А.5 Показник емісії оксидів азоту kNOx без заходів, г/ГДж | | | | |
| **Технологія спалювання** | **Тверде паливо** | **Мазут** | **Природний газ** | **Газотурбінне паливо** |
| **Факельне спалювання:** |  |  |  |  |
| *Введена теплова потужність котла* ≥ 300 МВт |  | 200 | 150 | - |
| - котел з рідким шлаковидаленням при спалюванні антрациту | 420 | - | - | - |
| - котел з рідким шлаковидаленням при спалюванні кам'яного вугілля | 250 | - | - | - |
| - котел з твердим шлаковидаленням при спалюванні кам'яного вугілля | 230 |  | - | - |
| *Введена теплова потужність котла* < 300 МВт |  | 140 | 100 | - |
| - котел з рідким шлаковидаленням при спалюванні антрациту | 250 | - | - | - |
| - котел з рідким шлаковидаленням при спалюванні кам'яного вугілля | 180 | - | - | - |
| - котел з твердим шлаковидаленням при спалюванні кам'яного вугілля | 160 | - | - | - |
| **Циркулюючий киплячий шар** | 70 | - | - | - |
| **Киплячий шар під тиском** | 100 | - | - | - |
| **Нерухомий шар** | 100 | - | - | - |
| **Камера згоряння газової турбіни** |  | 150 | 120 | 150 |

|  |  |
| --- | --- |
| Таблиця А.5а Узагальнені показники оксидів азоту kNOx, г/ГДж | |
| **Паливо** | **Значення** |
| Відходи деревини | 200 |
| Солома | 88 |
| Стебло бавовника | 88 |
| Костриця льняна | 88 |
| Лузга соняшника | 88 |
| Лузга рисова | 88 |
| Дизельне пальне | 300 |
| Коксовий газ | 150 |
| Доменний газ | 100 |

Введена теплова потужність визначається як кількість введеної енергії палива за одиницю часу або добуток нижчої робочої теплоти згоряння палива на витрату палива за одиницю часу. 1 МВт введеної теплової потужності відповідає витраті 0.03412 кг/с умовного палива

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Таблиця А.6 Емпіричний коефіцієнт *z* | | |
| **Теплова потужність (паропродуктивність) котельної установки** | **Тверде паливо** | **Природний газ, мазут** |
| Паровий котел ≥ 140 МВт (≥ 200 т/год) | 1.15 | 1.25 |
| Паровий котел від 22 до 140 МВт (від 30 до 200 т/год) | 1.15 | 1.25 |
| Водогрійний котел | 1.15 | 1.25 |

|  |  |
| --- | --- |
| Таблиця А.7 Ефективність первинних заходів скорочення викиду NOx [2] | |
| **Тип первинних заходів** | **Ефективність ηI** |
| Малотоксичні пальники | 0.20 |
| Ступенева подача повітря | 0.30 |
| Подача третинного повітря | 0.20 |
| Рециркуляція димових газів | 0.10 |
| Трьохступенева подача повітря та палива | 0.35 |
| Малотоксичні пальники + ступенева подача повітря | 0.45 |
| Малотоксичні пальники + подача третинного повітря | 0.40 |
| Малотоксичні пальники + рециркуляція димових газів | 0.30 |
| Ступенева подача повітря + подача третинного повітря | 0.45 |
| Ступенева подача повітря + рециркуляція димових газів | 0.40 |
| Малотоксичні пальники + ступенева подача повітря + рециркуляція димових газів | 0.50 |
| Малотоксичні пальники + ступенева подача повітря + подача третинного повітря | 0.60 |

**Список літератури**

1. Процедура оценки и представления данных о выбросах в рамках конвенции о трансграничном загрязнении воздуха набольшие расстояния. ER.AIR/GE.1/1997/5. 30 June 1997.
2. Питомі показники викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від основних виробництв промисловості та сільського господарства. Київ: Мінекоресурсів України, 2001.
3. GHG Inventory Reference Manual. IPCC/OECD Joint Program.- 1996.- Vol. 3.
4. Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод) / Под ред. Н.В. Кузнецова, В.В. Митора, И.Е. Дубровского, Э.С. Карасиной.- М.: Энергия, 1973.- 295 с.
5. Энергетическое топливо СССР (ископаемые угли, горючие сланцы, торф, мазут и горючий природный газ): Справочник / Под ред. Т.А. Зикеева.- М.: Энергия, 1968.
6. Справочник по содержанию малых элементов в товарной продукции угледобывающих и углеобогатительных предприятий Донецкого бассейна.- Днепропетровск, 1994.- 187 с.
7. Выбросы тяжелых металлов в атмосферу: Опыт оценки удельных показателей / Какарека С.В., Хомич В.С. и др.- Минск: Институт геологических наук НАН Беларуси. 1998.- 156 с.
8. Энергетическое топливо СССР (ископаемые угли, горючие сланцы, мазут и горючий природный газ): Справочник / В.С. Вдовченко, М.И. Мартынова, Н.В. Новицкий, Г.Д. Юшина.- М.: Энергоатомиздат, 1991.- 184 с.
9. Тепловые и атомные электрические станции: Справочник/ Под общ. ред. В.А. Григорьева и В.М. Зорина.- М.: Энергоиздат, 1982.- 624 с.- (Теплотехника и теплоэнергетика).
10. Роддатис К.Ф. Котельные установки. М.: Энергия, 1977.- 432 с.
11. Теплотехнический справочник. Т.2. М.: Энергоиздат, 1970.- 728 с.

Підписано до друку 28.09.2004р. Формат 60х84 1/32. Папір офсетний.

Умовн. друк. арк. 0,6. Наклад 100 прим.

Замовлення № 1285К.

# Віддруковано друкарнею

Запорізької державної інженерної академії

з комп’ютерного оригінал-макету

69006, м. Запоріжжя, пр. Леніна, 226

РВВ ЗДІА, тел. 601-240