



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA**

(11) **99748**

(13) **U**

(51) МПК

**F22B 35/02** (2006.01)

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2014 13069**

(22) Дата подання заявки: **05.12.2014**

(24) Дата, з якої є чинними  
права на корисну  
модель: **25.06.2015**

(46) Публікація відомостей  
про видачу патенту: **25.06.2015, Бюл.№ 12**

(72) Винахідник(и):

**Хобін Віктор Андрійович (UA),  
Трубіков Валерій Анатолійович (UA)**

(73) Власник(и):

**ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ  
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ,  
вул. Канатна, 112, м. Одеса, 65039 (UA)**

## (54) СПОСІБ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ РОЗРІДЖЕННЯМ В ТОПЦІ КОТЛА

### (57) Реферат:

Спосіб автоматичного керування розрідженням в топці включає вимірювання величини розрідження в топці котла, вимірювання величини тиску повітря в запальному пристрої котла, порівняння величини розрідження із заданим значенням і стабілізацію розрідження на заданому значенні зміною витрат продуктів згоряння, що видаляються, порівняння величини розрідження з її граничнодопустимим значенням і, при виникненні аварійної ситуації, коли величина розрідження стає менше граничнодопустимого значення, вмикання аварійного захисту. В мінливих умовах роботи топки додатково коригують задане значення розрідження, встановлюючи його, для поточних мінливих умов роботи котла, мінімально допустимим і одночасно таким, щоб при мінливих характеристиках коливань розрідження щодо такого заданого значення, аварійна ситуація не виникала.

**UA 99748 U**



Корисна модель належить до теплоенергетики і може бути використана в системах автоматичного управління паровими або водогрійними котлами, зокрема в системах автоматичного керування розрідженням в топці котла.

Відомий спосіб автоматичного керування розрідженням в топці котла, який реалізовано в системі автоматичного керування розрідженням, на основі регулятора, яка використовує інформацію однієї змінної - розрідження в топці котла та формує сигнал управління на зміну витрат продуктів згоряння, що видаляються, який реалізується різними технологічними пристроями: а) зміна положення дросельної заслінки (див. Плетнев Г.П. Автоматизированное управление объектами тепловых электростанций. - М.: Энергоиздат, 1981. - С. 241), б) зміна положення прямого апарата (див. Шафрановский В.А. Справочник наладчика автоматики котельных установок. - Симферополь: Таврия, 1987. - С. 154-172), в) зміна частоти обертання димососа (див. патент Російської федерації № 2247900, МПК F23N 1/02, 10.03.2005). Відповідно до цього способу, встановлюється задане значення розрідження, вимірюється величина розрідження, порівнюється із заданим значенням і стабілізується на заданому значенні, зміною витрат продуктів згоряння, що видаляються і, при виникненні аварійної ситуації, коли величина розрідження стає менше граничнодопустимого значення, вмикається аварійний захист та припиняється подача палива.

Відомий, розглянутий вище, спосіб (аналог) має із способом, що заявляється, такі загальні операції: вимірювання величини розрідження в топці котла, порівняння величини розрідження з її заданим значенням і стабілізація розрідження на заданому значенні зміною витрат продуктів згоряння, що видаляються, і, при виникненні аварійної ситуації, коли величина розрідження стає менше граничнодопустимого значення, вмикається аварійного захисту та припинення подачі палива.

Недоліком цього способу є низька ефективність роботи котла за рахунок підвищених витрат тепла з димовими газами. Це пояснюється тим, що задане значення розрідження встановлюють таким, щоб коливання розрідження, щодо цього значення не опускалися нижче граничнодопустимого значення. Це призводить до підвищення присосів повітря в топку, їх нагрівання і видалення з димовими газами.

Найбільш близьким аналогом є спосіб автоматичного керування розрідженням в топці котла, який реалізовано в системі автоматичного керування розрідженням, на основі регулятора, який використовує інформацію двох змінних - розрідження газів в топці котла і тиск повітря в запальному пристрої котла та формує сигнал управління на зміну витрат продуктів згоряння, що видаляються (Бузников Е.Ф., Раддатис К.Ф., Берзиньш Э.Я. Производственные и отопительные котельные. - М.: Энергоиздат, 1984. - С. 222-235). Відповідно до цього способу, встановлюється задане значення розрідження, вимірюється величина розрідження в топці котла, вимірюється величина тиску повітря в запальному пристрої котла, величина розрідження порівнюється із заданим значенням і стабілізується на заданому значенні, зміною витрат продуктів згоряння, що видаляються і, при виникненні аварійної ситуації, коли величина розрідження стає менше граничнодопустимого значення, вмикається аварійний захист та припиняється подача палива.

Найближчий аналог і спосіб, який заявляється, мають наступні спільні операції: вимірювання величини розрідження в топці котла, вимірювання величини тиску повітря в запальному пристрої котла, порівняння величини розрідження з її заданим значенням і стабілізація розрідження на заданому значенні, зміною витрат продуктів згоряння, що видаляються, і, при виникненні аварійної ситуації, коли величина розрідження стає менше граничнодопустимого значення, вмикається аварійного захисту та припинення подачі палива.

Недоліком цього способу є низька ефективність роботи котла за рахунок підвищених витрат тепла з димовими газами. Це пояснюється тим, що задане значення розрідження встановлюють таким, щоб коливання розрідження, щодо цього значення не опускалися нижче граничнодопустимого значення. Це призводить до підвищення присосів повітря в топку, їх нагрівання і видалення з димовими газами.

В основу корисної моделі поставлено задачу створити спосіб автоматичного керування розрідженням в топці котла, в якому шляхом зменшення витрат тепла з димовими газами, забезпечується підвищення ефективності роботи котла.

Поставлена задача вирішується в запропонованому способі, який включає вимірювання величини розрідження в топці котла, вимірювання величини тиску повітря в запальному пристрої котла, порівняння величини розрідження із заданим значенням і стабілізацію розрідження на заданому значенні зміною витрат продуктів згоряння, що видаляються, порівняння величини розрідження з її граничнодопустимим значенням і, при виникненні аварійної ситуації, коли величина розрідження стає менше граничнодопустимого значення, вмикається аварійного захисту, згідно з корисною моделлю, в мінливих умовах роботи топки

додатково коригують задане значення розрідження, встановлюючи його, для поточних мінливих умов роботи топки, мінімально допустимим і одночасно таким, щоб при мінливих характеристиках коливань розрідження щодо такого заданого значення, аварійна ситуація не виникала.

Коригування заданого значення розрідження ведуть на основі імовірнісного підходу, встановлюючи його таким, щоб при мінливих характеристиках коливань розрідження щодо мінімально допустимого заданого значення аварійна ситуація не виникала із заданою вірогідністю для заданого інтервалу часу, для чого додатково задають інтервал часу, значно менший, ніж час роботи топки, задають для цього інтервалу часу бажане значення вірогідності відсутності на ньому аварійної ситуації, за прийнятою математичною моделлю перераховують його в допустиме значення частоти виникнення аварійних ситуацій, по вимірних значеннях розрідження в топці розраховують, на кожному заданому інтервалі часу, оцінки імовірнісних характеристик коливань розрідження (зокрема математичних очікувань і, середньоквадратичних відхилень розрідження і швидкості його зміни), за прийнятою математичною моделлю і за значеннями розрахованих оцінок, розраховують оцінку поточного значення частоти виникнення аварійних ситуацій, порівнюють її з допустимим значенням цієї частоти, і, змінюючи задане значення розрідження, стабілізують оцінку поточної частоти виникнення аварійних ситуацій на її допустимому значенні.

Розрахунок допустимого значення частоти виникнення аварійної ситуації ведуть з математичної моделі:

$$n_s^{d-} = -\frac{1}{T} \ln P_s^{3d}(\Delta P^{gr-}, T),$$

де:  $P_s^{3d}(\Delta P^{gr-}, T)$  - задане значення вірогідності відсутності аварійної ситуації на інтервалі часу  $T$ , коли величина розрідження  $\Delta P$  знижується нижче його граничнодопустимого значення  $\Delta P^{gr-}$ ;

нижні індекси  $S$  і  $\bar{S}$  - позначають події, пов'язані відповідно з виникненням аварійної ситуації і з її відсутністю. Розрахунок оцінки поточного значення частоти виникнення аварійних ситуацій ведуть з математичної моделі:

$$\hat{n}^-(\Delta P^{gr-}, T) = \frac{\hat{\sigma}_{\Delta P}}{2\pi \hat{\sigma}_{\Delta P}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \text{sign} \Delta \Delta P - \left[ \frac{\Delta P^{gr-} - \hat{m}_{\Delta P}(t)}{\hat{\sigma}_{\Delta P}} \right]^2 \right\} * \\ * \left\{ \exp \left( \frac{\hat{m}_{\Delta P}(t)}{\hat{\sigma}_{\Delta P}} \right) + \sqrt{2\pi} \frac{\hat{m}_{\Delta P}(t)}{\hat{\sigma}_{\Delta P}(t)} \Phi \left( \frac{\hat{m}_{\Delta P}(t)}{\hat{\sigma}_{\Delta P}(t)} \right) \right\},$$

$$\Phi(\dots) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z \exp \left\{ -\frac{1}{2} z^2 \right\} dz, \Phi'(\dots) = \frac{1}{2\pi} \exp \left( -\frac{1}{2} z^2 \right)$$

де - інтеграл імовірності та його похідна для нормального закону розподілу імовірностей;

$\hat{\sigma}_{\Delta P}$ ,  $\hat{\sigma}_{\Delta P}$  - оцінки середньоквадратичних відхилень розрідження і швидкості його зміни як випадкових процесів, обчислювані на кожному інтервалі часу  $T_{\text{кст}}$ ;

$\hat{m}_{\Delta P}$ ,  $\hat{m}_{\Delta P}$  - оцінки мінливого математичного очікування і його першої похідної, обчислювані на кожному інтервалі часу  $T_m < T_{\text{кст}}$ .

Один з варіантів розрахунку оцінок характеристик випадкових процесів у модулі оцінки імовірнісних характеристик:

$$\hat{m}_{\Delta P} = \frac{1}{T_m} \int_{T_m}^{t+T_m} \Delta P(t) dt,$$

де  $\hat{m}_{\Delta P}$  - оцінка математичного очікування.

$$\hat{m}_{\Delta P} = \frac{1}{T} \int_{T_m}^{t+T_m} \Delta P(t) dt,$$

де  $\hat{m}_{\Delta P}$  - оцінка похідної математичного очікування.

$$\hat{\sigma}_{\Delta P}^2 = \frac{1}{T} \int_{T_{\text{кст}}}^{t+T_{\text{кст}}} \left( \Delta P(t) - \hat{m}_{\Delta P} \right)^2 dt,$$

де  $\hat{\sigma}_{\Delta P}$  - оцінка середньоквадратичного відхилення.

$$\hat{\sigma}_{\Delta^* P}^2 = \frac{1}{T} \int_{T_{\text{кст}}}^{t+T_{\text{кст}}} \left( \Delta^* P(t) - \hat{m}_{\Delta^* P} \right)^2 dt,$$

де  $\hat{\sigma}_{\Delta^* P}$  - оцінка похідної середньоквадратичного відхилення.

- 5 Як приклад, розрахунок поточного значення імовірності відсутності порушення в модуль розрахунку допустимої частоти порушень регламенту визначається з виразу:

$$P_s(\Delta P^{rp-}, T) = \exp\left\{-n_s(\Delta P^{rp-}, T)\right\} = \exp\left\{N_s(\Delta P^{rp-}, T)\right\},$$

де  $T$  - інтервал часу;

$n_s(\Delta P^{rp-}, T)$  - середня частота (інтенсивність) порушень у обмежень  $\Delta P^{rp-}$  на інтервалі часу

10  $T$ ;

$N_s(\Delta P^{rp-}, T)$  - загальна кількість подій  $S$  на інтервалі часу  $T$ .

На кресленні наведено схему одного з варіантів системи керування розрідженням в топці котла для здійснення способу, що заявляється.

- 15 Об'єктом управління є топка 2 котла 1 з системою видалення димових газів, продуктивність якої змінюється за рахунок зміни швидкості обертання димососа. Контур регулювання розрідження включає датчик розрідження 4 в топці 2 котла 1, датчик тиску повітря 5 в запальному пристрої 3 котла 1, регулятор частоти порушень гранично-припустимого значення розрідження 6 та регулятор розрідження 7, задавач величини розрідження 8 в топці 2 котла 1, блок порівняння корегуючого сигналу, сигналу зворотного зв'язку з датчика розрідження 4 та
- 20 сигналу допустимого заданого значення розрідження 9, блок порівняння сигналу з модуля розрахунку допустимої частоти порушень регламенту і сигналу з модуля оцінки поточного значення частоти порушень 10, блок порівняння сигналу допустимого заданого значення розрідження і сигналу зворотного зв'язку від датчика тиску повітря 11, модуль розрахунку допустимої частоти порушень регламенту 12 (МРДЧП), модуль оцінки поточного значення частоти порушень 13 (МОЧП), модуль оцінки імовірнісних характеристик 14 (МОІХ), задавач імовірності відсутності порушень 15, задавач інтервалу часу 16, де виконується умова квазістаціонарності, задавач граничнодопустимого значення розрідження 17, частотний перетворювач 18 двигуна димососа 19.

Спосіб здійснюється наступним чином.

- 30 Розрідження  $\Delta P$  в топці 2 котла 1 вимірюється за допомогою датчика розрідження 4. Сигнал з датчика розрідження 4 та сигнал з задавача 16 інтервалу часу  $T_{\text{кст}}$ , де виконується умова квазістаціонарності, надходять на вхід модуля 14, який призводить оцінки імовірнісних характеристик величини  $\Delta P$ . На основі сигналів оцінок імовірнісних характеристик та задавача 17 граничнодопустимого значення розрідження  $\Delta P^{rp-}$ , модуль 13 формує сигнал поточної або
- 35 розрахункової інтенсивності порушень регламенту  $n_s^{\Delta-}(\Delta P^{rp-}, t)$ . Модуль розрахунку допустимої частоти порушень регламенту 12 формує сигнал припустимої інтенсивності порушень  $n_s^{\Delta-}$  за сигналами задавача імовірності відсутності порушень 15 та задавача інтервалу часу  $T_{\text{кст}}$  16, де виконується умова квазістаціонарності. Блок порівняння 10 формує сигнал  $n_s^{\Delta-}$ , як різницю сигналу припустимої інтенсивності порушень  $n_s^{\Delta-}$  та сигналу поточної або розрахункової
- 40 інтенсивності порушень регламенту  $n_s^{\Delta-}(\Delta P^{rp-}, T)$ . Цей сигнал надходить на вхід регулятора частоти порушень 6, який формує сигнал допустимого заданого значення розрідження  $\Delta P^{3дд-}$ . Тиск повітря  $P$  в запальному пристрої 3 вимірюється за допомогою датчика тиску повітря 5. Сигнал допустимого заданого значення розрідження  $\Delta P^{3дд-}$  від регулятора частоти порушень гранично-припустимого значення розрідження 6 та сигнал тиску повітря  $P$  з датчика тиску
- 45 повітря 5 надходять на вхід блока порівняння 9, який формує корегуючий сигнал  $\Delta P^k$ . Сигнал з задавача величини розрідження 8 надходить в блок порівняння 9, куди також надходять сигнал

величини розрідження  $\Delta P$  та корегуючий сигнал  $\Delta P^k$  з блока порівняння 11. За цими сигналами, блок порівняння 9 формує сигнал розузгодження  $\Delta U$ , який надходить на вхід регулятора розрідження 7, що формує керуючу дію  $U$ . Керуюча дія  $U$  надходить на частотний перетворювач 18, що змінює швидкість обертання  $\omega$  двигуна димососа 19. Зміна частоти обертання двигуна димососа 19 змінює кількість відсмоктаних димових газів, що виділяються при спалюванні палива в котлі 1, що приводить до відповідної зміни величини розрідження  $\Delta P$  в топці 2 котла 1.

Імітаційне моделювання запропонованого способу підтвердило доцільність його використання та працездатність системи управління.

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

1. Спосіб автоматичного керування розрідженням в топці, що включає вимірювання величини розрідження в топці котла, вимірювання величини тиску повітря в запальному пристрої котла, порівняння величини розрідження із заданим значенням і стабілізацію розрідження на заданому значенні зміною витрат продуктів згоряння, що видаляються, порівняння величини розрідження з її граничнодопустимим значенням і, при виникненні аварійної ситуації, коли величина розрідження стає менше граничнодопустимого значення, вмикання аварійного захисту, який **відрізняється** тим, що в мінливих умовах роботи топки додатково коригують задане значення розрідження, встановлюючи його, для поточних мінливих умов роботи котла, мінімально допустимим і одночасно таким, щоб при мінливих характеристиках коливань розрідження щодо такого заданого значення, аварійна ситуація не виникала.

2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що коригування заданого значення розрідження ведуть на основі імовірнісного підходу, встановлюючи його таким, щоб при мінливих характеристиках коливань розрідження щодо мінімально допустимого заданого значення аварійна ситуація не виникала із заданою вірогідністю для заданого інтервалу часу, для чого додатково задають інтервал часу, значно менший, ніж час роботи топки, задають для цього інтервалу часу бажане значення вірогідності відсутності на ньому аварійної ситуації, за прийнятою математичною моделлю перераховують його в допустиме значення частоти виникнення аварійних ситуацій, по вимірних значеннях розрідження в топці розраховують, на кожному заданому інтервалі часу, оцінки імовірнісних характеристик коливань розрідження (зокрема математичних очікувань і середньоквадратичних відхилень розрідження і швидкості його зміни), за прийнятою математичною моделлю і за значеннями розрахованих оцінок розраховують оцінку поточного значення частоти виникнення аварійних ситуацій, порівнюють її з допустимим значенням цієї частоти і, змінюючи задане значення розрідження, стабілізують оцінку поточної частоти виникнення аварійних ситуацій на її допустимому значенні.

3. Спосіб за п. 2, який **відрізняється** тим, що розрахунок допустимого значення частоти виникнення аварійної ситуації ведуть з математичної моделі:

$$n_s^{\bar{D}} = -\frac{1}{T} \ln P_s^{3D}(\Delta P^{P-}, T),$$

де:  $P_s^{3D}(\Delta P^{P-}, T)$  - задане значення вірогідності відсутності аварійної ситуації на інтервалі часу  $T$ , коли величина розрідження  $\Delta P$  знижується нижче його граничнодопустимого значення  $\Delta P^{P-}$ ;

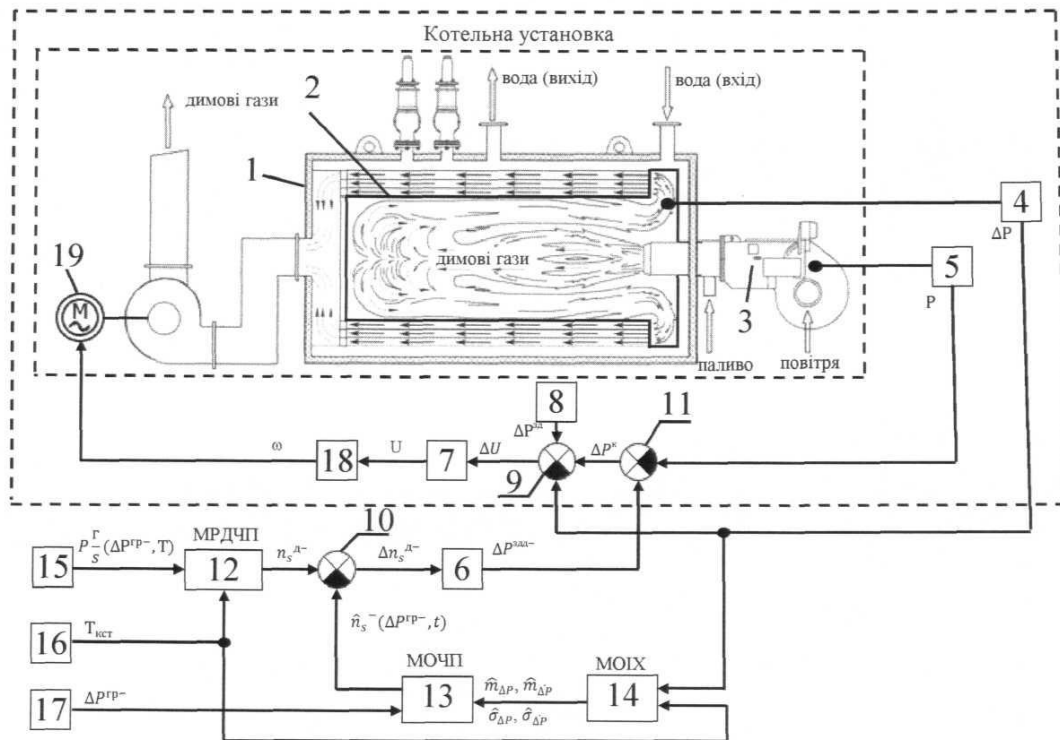
нижні індекси  $S$  і  $\bar{S}$  - позначають події, пов'язані відповідно з виникненням аварійної ситуації і з її відсутністю; розрахунок оцінки поточного значення частоти виникнення аварійних ситуацій ведуть з математичної моделі:

$$\hat{n}^{\bar{D}}(\Delta P^{P-}, T) = \frac{\hat{\sigma}_{\Delta P}}{2\pi \hat{\sigma}_{\Delta P}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \text{sign} \Delta \Delta P - \left[ \frac{\Delta P^{P-} - \hat{m}_{\Delta P}(t)}{\hat{\sigma}_{\Delta P}} \right]^2 \right\} * \\ * \left\{ \exp \left( \frac{\hat{m}_{\Delta P}(t)}{\hat{\sigma}_{\Delta P}} \right) + \sqrt{2\pi} \frac{\hat{m}_{\Delta P}(t)}{\hat{\sigma}_{\Delta P}(t)} \Phi \left( + \frac{\hat{m}_{\Delta P}(t)}{\hat{\sigma}_{\Delta P}(t)} \right) \right\},$$

де:  $\Phi(\dots) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z \exp \left\{ -\frac{1}{2} z^2 \right\} dz$ ,  $\Phi'(\dots) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp \left( -\frac{1}{2} z^2 \right)$  - інтеграл імовірності та його похідна для нормального закону розподілу імовірностей;

$\hat{\sigma}_{\Delta P}$ ,  $\hat{\sigma}_{\Delta^*P}$  - оцінки середньоквадратичних відхилень розрідження і швидкості його зміни як випадкових процесів, обчислювані на ковзному інтервалі часу  $T_{\text{кст}}$ ;

$\hat{m}_{\Delta P}$ ,  $\hat{m}_{\Delta^*P}$  - оцінки мінливого математичного очікування і його першої похідної, обчислювані на ковзному інтервалі часу  $T_m < T_{\text{кст}}$ .



Комп'ютерна верстка І. Скворцова

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601