

6. Ратушняк, Г. С. Автоматичне управління в системах біоконверсії [Текст] / Г. С. Ратушняк, В. В. Деджула // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2006. — № 6. — С. 116–121.
7. Мазуренко, А. С. Эксергетические характеристики биогазовых установок [Текст] / А. С. Мазуренко, А. Е. Денисова, А. А. Климчук, Нго Минь Хиеу, П. А. Котов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2014. — № 1/8(67). — С. 7–12. — Режим доступа: \www/URL: http://journals.urau.ua/eejet/article/view/20021/19032
8. Чайковська, Є. Є. Розробка методу підтримки співвідношення виробництва та споживання енергії [Текст] / Є. Є. Чайковська // Технологічний аудит та резерви виробництва. — 2014. — № 5/3(19). — С. 31–34. doi:10.15587/2312-8372.2014.27944
9. Чайковська, Є. Є. Підтримка співвідношення виробництва та споживання електричної енергії та теплоти на рівні прийняття рішень [Текст] / Є. Є. Чайковська // Східно-Європейський журнал передових технологій. — 2014. — № 3/8(69). — С. 4–9. doi:10.15587/1729-4061.2014.24883
10. Чайковська, Є. Є. Технологічна система виробництва та споживання біогазу [Текст] / Є. Є. Чайковська // Східно-Європейський журнал передових технологій. — 2014. — № 4/8(70). — С. 50–57. doi:10.15587/1729-4061.2014.26267

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОГО МЕТОДА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ В СОСТАВЕ КОГЕНЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

В работе на основе интеллектуальной системы разработан комплексный метод управления функционированием когене-

рационной системы с использованием электроаккумуляторной батареи, теплоэлектроаккумулятора, теплового насоса и биогазовой установки, который позволяет поддерживать соотношение производства и потребления электрической энергии и теплоты. Получение прогнозирующей информации для принятия решений в условиях не совпадения производства и потребления электрической энергии и теплоты позволяет снизить себестоимость производства энергии и вредные выбросы двуокиси углерода до 15 %.

Ключевые слова: интеллектуальное управление, принятие решений, когенерационная система.

Чайковська Євгенія Євстафіївна, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доцент, кафедра теоретичної, загальної та нетрадиційної енергетики, Одеський національний політехнічний університет, Україна, e-mail: eechaikovskaya@gmail.com.

Чайковская Евгения Евстафьевна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент, кафедра теоретической, общей и нетрадиционной энергетики, Одесский национальный политехнический университет, Украина.

Chaikovskaya Eugene, Odessa National Polytechnic University, Ukraine, e-mail: eechaikovskaya@gmail.com

УДК 621.18

DOI: 10.15587/2312-8372.2014.31786

Юрасова О. Г.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ КОТЛА ТП-210А ПРИ РІЗНИХ СИСТЕМАХ ПИЛОПОДАЧІ

В статті досліджено ефективність паливного режиму енергетичних котлів, обладнаних системою висококонцентрованої пилоподачі під тиском на пальники при спалюванні низькорекційного вугілля погіршеної якості. Розглянуто основні фактори та вплив їх на паливний режим котла при двох технологіях пилоподачі.

Ключові слова: паровий котел, паливня, висококонцентрована подача пилу, паливний режим, оксиди азоту.

1. Вступ

Важливим завданням в енергетиці України є продовження терміну служби діючих ТЕС. Заміна старого устаткування на нове потребує значних капіталовкладень. Використання вугілля погіршеної якості спонукає до створення нових технологій спалювання і модернізації існуючого устаткування. Актуальним є дослідження ефективності паливного процесу котла ТПП-210А, обладнаного висококонцентрованою пилоподачею в пальники, і дослідження режиму роботи та зниження викидів NO_x .

2. Аналіз літературних даних

Підвищення економічності роботи пилувугільних котлів та енергоблоків є важливою задачею в енерге-

тиці України. Відомо [1] введення потужних енергоблоків ТЕС зокрема потужністю 300 МВт відбувалося 35–45 років тому. За цей період більшість котлів та енергоблоків відпрацювали свій технічний ресурс та потребують модернізації чи їх заміни.

Вважаючи на економічну скруту в Україні важливою задачею є продовження технічного ресурсу устаткування при збереженні достатньо високих техніко-економічних показників їх роботи.

Спалювання палива в паливні пилувугільних котлів погіршеної якості вимагає ряд заходів, для збереження надійності роботи обладнання та екологічних показників зниження шкідливих викидів в довкілля ТЕС [2]. Для котлів ТПП-210А Трипільської ТЕС була розроблена і впроваджена система подачі пилу високої концентрації під тиском [3], і оптимізація паливних режимів роботи [4], та зниження викидів NO_x [5–9].

3. Мета та задачі дослідження

Мета статті — визначення впливу якості твердого палива на ефективність і екологічні показники роботи котла ТПП-210А.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

1. Визначити викиди NO_x котлами ТПП-210А при різних системах пилоподачі.
2. Визначити вплив режимних факторів на величину викидів оксидів азоту.

4. Коротка характеристика котельного устаткування

Прямотечійний котел ТПП-210А пилувугільний, дво-корпусний, симетричний, паропродуктивністю 950 т/год. Компонівка котла П-подібна. По висоті паливня розділена перетином на камери горіння і охолодження. Екрани паливні, які утворюють камеру горіння, ошиповані і покриті вогнетривкою масою. Для виходу рідкого жужелю в поді камери горіння наявні дві охолоджуючі поверхні. Паливня котла обладнана шістьма равликолопатковими пилогазовими пальниками встановленими в один ярус на фронтальній і тильній стінах. Подача пилу на котлі № 4Б здійснюється 12-ма лопатковими пиложивильниками типу УЛПП-2-64, продуктивністю 8 т/год кожний. На котлі ст. № 1А, який оснащений системою подачі пилу високої концентрації під тиском ПВКт, подача пилу здійснюється за допомогою 12 аероживильниками і зтиснутого повітря від повітродувки [3, 4].

Характерною особливістю даної схеми ПВКт є те, що транспорт пилу від аероживильників до пальника здійснюється по пилопроводу діаметром 80 мм, а за два метра перед пальником цей пилопровід під'єднаний до пилопроводу первинного повітря діаметром 530 мм. Таким чином, безпосередньо в пальник пил подається так, як і в схемі з традиційною пилоподачею.

Значення основних параметрів корпусу котла ТПП-210А наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Основні характеристики котла ТПП-210А

Найменування величин	Значення
Витрата перегрітої пари, т/год	475
Витрата пари промперегріву, т/год	400
Температура перегрітої пари, °С	545
Тиск перегрітої пари, кгс/см ²	255
Температура живильної води, °С	260
Тиск живильної води, кгс/см ²	300
Температура пари промперегріву за котлом, °С	547
Тиск пари промперегріву за котлом, кгс/см ²	37
Температура при промперегріву перед котлом, °С	307
Тиск пари промперегріву перед котлом, кгс/см ²	39,5
Температура холодного повітря, °С	30
Температура гарячого повітря, °С	380
Розрахунковий ККД брутто, %	89,99

5. Результати порівняльних дослідів концентрації оксидів азоту при різних системах пилоподачі

Залежність концентрації оксидів азоту на виході з котла ТПП-210А для системи ПВКт від його паропродуктивності з достатньою точністю описується рівнянням прямої: $y = a + b \cdot x$, яку можна записати наступним чином [5, 6]:

$$G_{NO_x} = G_0 + \varphi \cdot D_K, \tag{1}$$

де $G_0 = -84,03 \text{ мг/м}^3$ — розрахункова величина; $\varphi = 2,2559 \text{ (мг} \cdot \text{год) / (м}^3 \cdot \text{т)}$ — розрахунковий коефіцієнт; D_K — паропродуктивність котла (320–480), т/год.

Для системи з традиційною подачею пилу рівняння має вигляд:

$$G_{NO_x} = G_0 + \varphi \cdot D_K, \tag{2}$$

де $G_0 = 88,169 \text{ мг/м}^3$ — розрахункова величина; $\varphi = 1,9053 \text{ (мг} \cdot \text{год) / (м}^3 \cdot \text{т)}$ — розрахунковий коефіцієнт; D_K — паропродуктивність котла (320–480), т/год.

Аналіз результатів порівняльних дослідів [8, 9] показує, що екологічні (по NO_x) показники роботи котлів, оснащених системами ПВКт, відрізняються від відповідних показників котлів з традиційною системою пилоприготування відбувається зменшення викидів NO_x .

Таким чином, екологічні (по NO_x) показники роботи котлів, оснащених системами подачі пилу ПВКт, відрізняються від відповідних показників котлів з традиційною системою пилоприготування відбувається зменшення викидів NO_x . Очевидні наступні переваги системи ПВКт:

- зниження металоемкості (застосування пилопроводів малого діаметра);
- зменшення ремонтних затрат (термін дії пилопроводів ПВКт значно більше);
- підвищення надійності через відсутність обертових механізмів (пиложивильників).

Досліди з різними коефіцієнтами надлишку повітря в паливні показали, що максимальна кількість оксидів азоту ($\sim 900 \div 950 \text{ мг/м}^3$) створюється при надлишку повітря рівний 1,22–1,25.

На основі аналізу експериментальних досліджень отримано аналітичні узагальнюючі залежності концентрації оксидів азоту від коефіцієнта надлишку повітря, яку можна записати поліномом другого степеня:

- а) навантаження — 1,0 D_K :
 - для системи ПВКт:

$$G_{NO_x} = G_0 + z \cdot \alpha + b \cdot \alpha^2, \tag{3}$$

$$G_0 = 28719 \text{ мг/м}^3,$$

$$z = 4741 \text{ мг/м}^3,$$

$$b = -19008 \text{ мг/м}^3,$$

де G_{NO_x} — концентрація оксидів азоту, мг/м³; G_0, z, b — розрахункові величини, мг/м³; α — коефіцієнт надлишку повітря (1,10–1,45) (–);

- для системи з традиційною подачею пилу, яка описується поліномом другого степеня:

$$\begin{aligned}
 G_{NO_x} &= G_0 + z \cdot \alpha + b \cdot \alpha^2, \\
 G_0 &= 28719 \text{ мг/м}^3, \\
 z &= 4741 \text{ мг/м}^3, \\
 b &= -19008 \text{ мг/м}^3,
 \end{aligned}
 \quad (4)$$

де G_{NO_x} — концентрація оксидів азоту, мг/м³; G_0 , z , b — розрахункові величини, мг/м³; α — коефіцієнт надлишку повітря (-);

б) навантаження — 0,8 D_K :
— для системи ПВКт:

$$\begin{aligned}
 G_{NO_x} &= G_0 + z \cdot \alpha + b \cdot \alpha^2, \\
 G_0 &= 15438 \text{ мг/м}^3, \\
 z &= 25121 \text{ мг/м}^3, \\
 b &= -19782 \text{ мг/м}^3,
 \end{aligned}
 \quad (5)$$

де G_{NO_x} — концентрація оксидів азоту, мг/м³; G_0 , z , b — розрахункові величини, мг/м³; α — коефіцієнт надлишку повітря 1,15–1,45 (-);

— для системи з традиційною подачею пилу:

$$\begin{aligned}
 G_{NO_x} &= G_0 + z \cdot \alpha + b \cdot \alpha^2, \\
 G_0 &= -13460 \text{ мг/м}^3, \\
 z &= 35022 \text{ мг/м}^3, \\
 b &= -13460 \text{ мг/м}^3,
 \end{aligned}
 \quad (6)$$

де G_{NO_x} — концентрація оксидів азоту, мг/м³; G_0 , z , b — розрахункові величини, мг/м³; α — коефіцієнт надлишку повітря (-).

В цьому режимі температура в ядрі факелу максимальна, що являється одним з визначальних факторів утворення оксидів азоту [10]. При зниженні надлишку повітря до 1,13 концентрація оксидів азоту в димових газах знижується до ~600÷650 мг/м³. Це зниження обумовлене зменшенню кількості вільного кисню, який вступає в реакцію з азотом і зменшенням кількості азоту, який поступає в паливню з повітрям. Однак, при цьому в паливні створюються комфортні умови для протікання вуглекислотної корозії екранних труб НРЧ через дефіцит кисню в пристінній зоні горіння, а також збільшення втрати тепла з механічним недопадом. Збільшення коефіцієнта надлишку повітря в паливні від 1,25 до 1,38 також призводить до зменшення концентрації оксидів азоту до ~600÷650 мг/м³. Проходить це за рахунок того, що незважаючи на збільшення азоту, який поступає в паливню і кисню повітря, температура в ядрі факелу знижується через його «застигання» надлишковим повітрям і цей фактор являється переважаючим. Збільшення коефіцієнта надлишку повітря призводить до значного зниження економічності (зростання втрат тепла з відхідними газами і витратами електроенергії на тягу і дуття) і погіршення виходу рідкого жужело.

При часткових навантаженнях котла залежність концентрації азоту і економічних показників від надлишку повітря аналогічно вище описаним і відрізнялись тільки абсолютними значеннями показників [11].

Були проведені експериментальні дослідження при сумісному спалюванні природного газу та вугілля.

Згорання природного газу при його частці до 0,20 проводилися в пальниках разом з пилом, при більшій частці газу окремі пальники переводились повністю на згорання газу. Збільшення частки газу від 0,10 до 0,15 приводило до зниження концентрації оксидів азоту від ~900 до ~800 мг/м³ зменшення на ~11 %. Подальше збільшення частки природного газу менш суттєво знижувало концентрацію. В діапазоні зміни частки природного газу 0,40÷1,0 концентрація оксидів азоту була практично незмінна і знаходилась на рівні ~700 мг/м³. Зменшення утворення оксидів азоту зі збільшенням частки природного газу було викликано зменшення температури факелу. Збільшення частки природного газу на підсвітку і при спільному його згоранні з вугільним пилом погіршувало випал твердого палива та підвищувало температуру вихідних газів. В діапазоні зміни частка природного газу від нуля до 0,25 можна прийняти залежність економічних показників прямо-лінійними. В цього випадку збільшення частки природного газу на 0,10 визвало ріст вмісту горючих в виносі на ~3 % абс. Ці величини можуть використовуватися в якості поправочних коефіцієнтів до нормативної характеристики котла [12].

При номінальному навантаженні котлів приведена температура відхідних газів становила 165 °С. Вміст горючих в виносі і втрати тепла з механічним недопадом при номінальному навантаженні прирівнювалась ~16,5 % і ~4,8 %. Втрати тепла з відхідними газами склали при номінальному навантаженні ~8,6 %. При оптимальних надлишках повітря в експлуатаційному діапазоні навантаження котлів втрати тепла від хімічного недопалу відсутні.

Втрати тепла в навколишнє середовище не визначались і прийняті відповідно рекомендаціям. ККД котла бруто склав при номінальному навантаженні ~85,9 %.

6. Висновки

В результаті проведених досліджень:

1. На основі експериментальних досліджень виконаних на котлі ТПП-210А з традиційною системою пилоподачі та з системою ПВКт встановлено, що система ПВКт має переваги над традиційною системою подачі пилу в паливню котла, а саме: зменшення викиду NO_x, затрати електроенергії на власні потреби та ремонтні роботи.

2. Експлуатаційний рівень концентрації оксидів азоту в димових газах котлів при номінальному навантаженні надлишку повітря в паливні 1,23–1,24, складає 900–1000 мг/м³. Ця величина, приведена до коефіцієнта надлишку повітря з відхідними газами 1,4, складає 800–880 мг/м³, що в середньому на -5 % вище нормативної величини.

Література

1. Мисак, Й. С. Проблеми використання низькоякісних палив на ТЕС України [Текст] / Й. С. Мисак, Я. Ф. Івасик // Вісник Державного університету «Львівська політехніка». — 1999. — № 365. — С. 20–24.
2. Мисак, Й. С. Методика визначення впливу режимних параметрів на величину концентрації NO_x в димових газах котла [Текст] / Й. С. Мисак, Я. Ф. Івасик, І. А. Демчук // Енергетика і електрифікація. — 2000. — № 4. — С. 41–44.
3. Кесова, Л. О. Технологія подачі пилу з високою концентрацією як засіб покращення екологічних показників котлів,

- що спалюють АШ та шлами [Текст] / Л. О. Кесова, Ю. М. Побіровський // Энергетика: екологія, технології, екологія. — 2000. — № 3. — С. 45–49.
4. Трёмбовля, В. Н. Теплотехнические испытания котельных установок [Текст] / В. И. Трёмбовля, Е. Д. Фингер, А. А. Авдеева. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 416 с.
 5. МУ 34-70-041-83. Методические указания по определению содержания окислов азота в дымовых газах котлов (экспресс методы) [Текст]. — Введен 01.07.1983. — М.: СПО Союзтехэнерго, 1983. — 23 с.
 6. Техническая эксплуатация электрических станций и сетей [Текст]: Правила. — Львов: ОАО «ЛьвовОРГРЭС», ГДП «ДонОРГРЭС», 2002. — Режим доступа: \www/URL: https://kramtp.info/UserFiles/file/doc/PTE%20Ukr.doc
 7. Кузнецов, Н. В. Тепловой расчет котельных агрегатов (Нормативный метод) [Текст] / под ред. Н. В. Кузнецова и др. — Москва: Энергия, 1978. — 296 с.
 8. Энергетические характеристики оборудования Трипольской ГРЭС [Текст]. — М., 1987. — 12 с.
 9. Вукалович, М. П. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара [Текст] / М. П. Вукалович и др. — М.: Издательство стандартов, 1989. — 311 с.
 10. Котлер, В. Р. Оксиды азота в дымовых газах котлов [Текст] / В. Р. Котлер. — М.: Энергоатомиздат, 1987. — 97 с.
 11. Котлер, В. Р. Снижение выбросов оксида азота котлами ТЭС при сжигании органического топлива [Текст]: итоги науки и техники ВИНТИ / В. Р. Котлер // Серия: Котельные

установки и водоподготовка. — М.: Теплоэнергетика, 1987. — № 7. — С. 6973.

12. Янко, П. І. Режими експлуатації енергетичних котлів [Текст] / П. І. Янко, Й. С. Мисак. — Львів: НВФ «Українські технології», 2004. — 270 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ КОТЛА ТП-210А ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМАХ ПЫЛЕПОДАЧИ

В статье исследована эффективность топочного режима энергетических котлов, оборудованных системой высококонцентрированной пылеподдачи под давлением на горелки при сжигании низкорекреационного угля ухудшенного качества. Рассмотрены основные факторы и их влияние на топочный режим котла при двух технологиях пылеподдачи.

Ключевые слова: паровой котел, топка, высококонцентрированная подача пыли, топочный режим, оксиды азота.

Юрасова Оксана Георгіївна, асистент, кафедра теплотехніки і теплових електричних станцій, Національний університет «Львівська політехніка», Україна, e-mail: yurasova_o@ukr.net.

Юрасова Оксана Георгиевна, ассистент, кафедра теплотехники и тепловых электрических станций, Национальный университет «Львовская политехника», Украина.

Yurasova Oksana, National University «Lviv Polytechnic», Ukraine, e-mail: yurasova_o@ukr.net

УДК 681.5.015.3

DOI: 10.15587/2312-8372.2014.32251

Волянський Р. С.

СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ СО СКОЛЬЗЯЩИМИ РЕЖИМАМИ ВТОРОГО ПОРЯДКА

Предложен метод определения ошибок регулирования в установившихся режимах работы обобщенных электромеханических систем. Выполнено преобразование уравнений движения обобщенной нелинейной электромеханической системы к управляемой форме Бруновского. Найдено уравнение статического равновесия рассматриваемой системы и получены выражения для определения координат замкнутой системы в установившемся режиме.

Ключевые слова: электромеханическая система, скользящий режим второго порядка, статические характеристики, нелинейное управление.

1. Введение

Современный уровень развития производственных отношений требует постоянного повышения качества выпускаемой продукции и улучшения оказываемых услуг, что невозможно без совершенствования процесса производства. Этому способствует существующая материальная база информационной, преобразовательной и исполнительной техник, которая создает все предпосылки для внедрения принципиально новых подходов к процессам управления исполнительными устройствами, отдельными технологическими процессами и всем производством с целью улучшения их технико-экономических характеристик. В настоящее время большое количество,

как самостоятельных исполнительных устройств, так и исполнительных механизмов в составе технологического процесса строится с использованием электроприводов. При этом ведение производственного процесса или обеспечение заданных режимов работы технологического оборудования выполняется путем формирования управляющего воздействия на тот или иной электропривод. Таким образом, одним из путей повышения качества выпускаемой продукции является улучшение качественных показателей процессов управления исполнительными электромеханическими системами и устройствами в результате совершенствования существующих и разработки новых законов управления. Последнее обуславливает актуальность выполнения исследований.