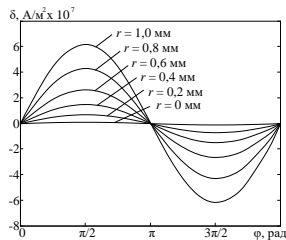
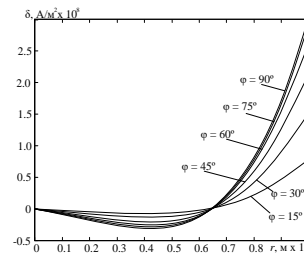
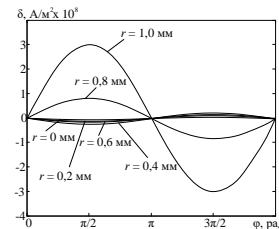
Рис. 1. Зависимость $\delta(r)$ при $0 \leq \varphi \leq 90^\circ$ и $f=1$ кГцРис. 3. Зависимость $\delta(\varphi)$ при $0 \leq r \leq a$ и $f=1$ кГцРис. 2. Зависимость $\delta(r)$ при $0 \leq \varphi \leq 90^\circ$ и $f=5$ кГцРис. 4. Зависимость $\delta(\varphi)$ при $0 \leq r \leq a$ и $f=5$ кГц

Значение r^* определяется нулями функции $J_1(kr)$ и для рассматриваемых числовых данных его можно найти из уравнения (см. выражение (16))

$$\text{Im}(\beta k^3 J_1(kr^*)) = 0. \quad (24)$$

Анализ распределения пондеромоторных сил и комплексное исследование их зависимости от частоты поля и других параметров будут предметом отдельного рассмотрения.

Выводы. Получены обобщающие аналитические выражения для электромагнитного поля внутри и вне магнитнопроводящего кругового цилиндра, из которых вытекают известные результаты для частных случаев (постоянное магнитное поле, электромагнитное поле в проводящей среде). Установлены также точные выражения для распределения векторов пондеромоторных сил вне цилиндра, что открывает новые возможности для решения ряда задач, например, связанных с магнитнофоретическим движением частиц.

Список литературы

1. Ландау Л. Д. Электродинамика сплошных сред / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – М.: Наука, 1982. 620 с.
2. Кондратенко І.П., Волканін С.Є., Некрасов А.В., Хасцький І.К. Магнітогідродинамічний сепаратор наночастинок // Праці Луганського відділення Міжн. Академії інформації. – 2011. – №2(24). – с. 26-29.
3. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле: Учебник для электротех., энерг., приборостроит., спец. вузов. – 8-е изд. перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1986. – 263 с.: ил.
4. Янке Е., Эмде Ф., Леш Ф. Специальные функции (Формулы, графики, таблицы). – М.: Наука, 1964. – 344 с. Рукопись поступила в редакцию 29.03.12

УДК 621.181.124

О.В. ЗАМИЦЬКИЙ, д-р техн. наук, доц., І. ЄФІМЕНКО, студент
ДВНЗ «Криворізький національний університет»

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РЕЖИМІВ СПАЛЮВАННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ

Розглянемо основні існуючі режими спалювання газів у топці котлоагрегата. Показано, що режими з помірним недопалом є найбільш виправданими як з погляду екологічної безпеки, так і з погляду ефективного спалювання природного газу.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Зниження забруднення довкілля токсичними продуктами згоряння органічних палив є однією з важливих проблем розвитку теплоенергетики. У цей час діють досить тверді нормативи, що регламентують викиди в атмосферу. Переважна більшість діючих котлів мають значно більш високі рівні викидів NO_x , ніж це регламентується. До теперішнього часу розроблена велика кількість методів зниження викидів оксидів азоту як на стадії спалювання палива (так звані технологічні або внут-

рішньотопкові заходи), так і очищення газів на стадії охолодження продуктів згоряння (наприклад, Depox). Останні є високоефективними методами, що дозволяють забезпечити задані рівні викидів оксидів азоту, і широко застосовуються в технологічно розвинених країнах. Однак дуже високі капітальні й експлуатаційні витрати, необхідність розміщення великогабаритних установок і тривалий час, необхідні для їхньої реалізації, роблять впровадження даних технологій для діючих котлів у недалекому майбутньому вкрай малоімовірним. У табл. 1 наведено малозатратні технологічні заходи, які забезпечують пригнічення викидів NO_x .

Слід зазначити, що при впровадженні даних технологій може спостерігатися не тільки зниження ККД котельної установки, але й складності з регулюванням технологічних процесів. Останнє часто обумовлене не тільки ускладненням схеми регулювання, але й поганим станом контрольно-вимірних приладів, установлених на котлі.

Таблиця 1

Малозатратні технологічні заходи, які забезпечують пригнічення викидів NO_x

Захід	Реалізація	Зниження NO_x , %	Недоліки
Спрощене двоступінчасте спалювання	Відключення частини пальників по паливу	20 - 40	Складність реалізації на котлах з малою кількістю пальників
Спрощена схема рециркуляції	Подача частини димових газів із вихлопу ДС на всас ДВ	30 - 60	Зниження ККД котла, необхідний запас з тяги та дуття, збільшуються власні потреби
Вприск вологи	Встановлення форсунок	15 - 20	Зниження ККД котла
Нестехіометричне спалювання	Розпогодження відношення паливо-повітря у пальниках або по ярусам	35 - 55	Зниження ефективності при зменшеному навантаженні
Зниження надлишку повітря	Зниження загального надлишку повітря	10 - 30	Можливість підвищеного хімічного недопалу

Аналіз досліджень та публікацій. Зростання промислового виробництва й прискорене введення в роботу електрогенеруючих потужностей, що планується в найближчі роки, потребує скоротити обсяги викидів від уже встановленого устаткування. Особливо актуальною ця проблема стане, якщо все-таки почне відбуватися заміна природного газу твердим паливом і мазутом.

Одним з найбільше легко реалізованих режимних заходів є зниження надлишку повітря в топці. У результаті зменшення змісту кисню в зоні горіння відбувається заглушення утворення як термічних, так і паливних NO_x .

Дуже часто, як показує практика, котли працюють із досить високими коефіцієнтами надлишку повітря близькими до значень a_{max} . Для таких агрегатів зниження надлишків повітря показує гарні результати. У результаті зниження надлишків повітря до значень $a_{\text{раб}} = a_{\text{кр}} + 0,02 - 0,04$ звичайно спостерігається зменшення викидів оксидів азоту на 10-30%. При цьому не потрібно яких-небудь додаткових капітальних і експлуатаційних витрат, а всі витрати на його впровадження зводяться до вартості режимно-налагоджувальних випробувань котла [6].

Ще більший ефект зниження викидів оксидів азоту, як показали результати експериментів, спостерігається при подальшому зниженні a нижче значень $a_{\text{раб}}$ аж до появи хімічного недопалу. Тому даний захід може бути застосовано при спалюванні будь-яких видів органічного палива. В роботах Р. Б. Ахмедова, В.Р. Котлера та П. В. Рослякова ретельно досліджується питання зниження викидів оксидів азоту за рахунок режимно-налагоджувальних випробувань котлів.

Розрахунки показників якості продуктів згоряння проведені за результатами випробувань Л.М. Цирюльникова, П.В. Рослякова, А.В.Вершиніна та А.Э. Зелінського показали, що великий внесок у сумарну шкідливість викиду продуктів згоряння в атмосферу вносять оксиди азоту NO_x , насамперед за рахунок NO_2 . Їхня частка в сумарній шкідливості викиду для різних режимів становить від 90 до 98 %.

Показано, що режими з контрольованим помірним недопалом є найбільш виправданими як з погляду екологічної чистоти, так й з погляду ефективного спалювання палива.

Постановка завдання. Одним з найбільше легко реалізованих режимних заходів є зниження надлишку повітря в топці. У результаті зменшення змісту кисню в зоні горіння відбувається заглушення утворення як термічних, так і паливних NO_x . Тому даний захід може бути застосовано при спалюванні будь-яких видів органічного палива. Це дозволяє не тільки знизити викиди NO_x , але й трохи підвищити ККД котла за рахунок зниження витрат теплоти з газами, що йдуть, й витрат енергії на власні потреби.

Відомо, що концентрації різних домішок у продуктах згоряння самим тісним образом зв'язані між собою. Зміна режиму спалювання палива приводить до збільшення змісту одних домішок при одночасному зниженні емісії інших. Тому екологічна безпека режиму буде тим вище, чим менше значення сумарного відносного показника шкідливості димових газів, що викидаються.

Проведені експериментальні дослідження процесів конверсії С і БП у газовому тракці котлових установок показали принципову можливість реалізації в котлі різних режимів спалювання.

Викладення матеріалу та результати. Розглянемо основні існуючі режими спалювання газів у топці котлоагрегата.

Режим спалювання без недопалу характеризується підвищеним виходом NOX і зниженим змістом БП по всьому газовому тракту. Зміст CO у димових газах у режимному перетині й за димососом не перевищує 5-10 ppm (6,25-12,5 мг/м³). Такі режими, як правило, реалізовані в режимній карті котла.

Режими з недопалом палива характеризуються меншими концентраціями O₂ у зоні горіння й зниженим рівнем температур у топковій камері, у результаті чого відбувається затягування процесів догорання продуктів неповного згоряння палива в газохід котельної установки. При цьому залежно від ступеня хімічного недопалу (тобто від затягування процесу горіння по довжині газового тракту) принципово можливі наступні варіанти зміни концентрацій БП і С у газовому тракці котельної установки.

Режим з помірним недопалом або режим з контрольованим помірним затягуванням процесу горіння характеризується досить більшим (до 100-400 ppm або 125-500 мг/м³) змістом С у газовому тракці в режимному перетині. Далі по тракту концентрація оксиду вуглецю монотонно убуває до значень 0-50 ppm (0-62,5 мг/м³) у перетині за димососом. При цьому уздовж усього газового тракту відбувається догорання БП, а кінцевий вихід NO_x на 15-40 % менше, чим при звичайних режимах спалювання.

Режими з більшим недопалом або режими з більшим затягуванням процесу горіння характеризуються підвищеними концентраціями БП і відносно невисоким змістом С (від 10 до 100 ppm або 12,5-125 мг/м³) у режимному перетині. Далі по тракту в результаті інтенсивного вигорання вуглеводнів відбувається різке збільшення виходу С, зміст якого може досягати значень кілька сотень мг/м³. Затягування процесу горіння через недостатність повітря в топковій камері настільки велике, що на останньої ділянці газового тракту котельної установки, незважаючи на присоси повітря, С не встигає повністю окислитися до CO₂. У результаті концентрації С у перетині за димососом можуть досягати значень 150-400 ppm (187,5-500 мг/м³) і вище. Природно, що режими з більшим недопалом, навіть не дивлячись на істотне (40-50 %) зниження виходу оксидів азоту, не можуть бути рекомендовані в якості експлуатаційних через знижену ефективність спалювання палива, заносу поверхонь нагрівання сажистими частками та ін.

Для порівняння екологічної безпеки розглянутих вище режимів спалювання для кожного з них розраховувався показник сумарної шкідливості продуктів згоряння SP, що є сумою приватних показників шкідливості Pi для С, NOX і БП. У свою чергу приватні показники шкідливості Pi характеризують питому кількість шкідливої речовини і його відносну токсичність і являють собою кількість грамів шкідливої домішки *m_j*, що утворювався при спалюванні одного грама палива, віднесене до відносної теплоти згоряння палива й до відносної токсичності шкідливої домішки:

$$P_i = m_i \cdot (1 - \eta) / \{ [Q_{ir} / (Q_{ir})_{ут}] \cdot [ПДК_{мр} / (ППД_{мр})_{золи}] \},$$

де Q_{ir} , (Q_{ir}) - теплота згоряння відповідно розглядаемого та умовного палива, МДж/кг (МДж/м³); ПДК_{мр}, (ППД_{мр}) золи - максимальні разові гранично допустимі концентрації домішок і золи, мг-м³; η - ступінь очищення димових газів від і-тої домішки перед викидом у атмосферу (у долях).

Зміст шкідливих домішок С і БП у продуктах згоряння по довжині газового тракту котельної установки міняється. Відповідно по довжині тракту міняється й сумарна токсичність газів, яка характеризується величиною SP.

Проведені за результатами випробувань [1,3,4] розрахунки Pi і SP показали, що великий внесок у сумарну шкідливість викиду продуктів згоряння в атмосферу вносять оксиди азоту NO_x, насамперед за рахунок NO₂. Їхня частка в сумарній шкідливості викиду для різних режимів становить від 90 до 98 %. Внесок продуктів хімічного недопалу (С і БП) при звичайних режимах спалювання мізерно малий (менше за 1-2 %). Тому для збільшення екологічної безпеки

спалювання природного газу в першу чергу необхідно знижувати емісію NO_x . При реалізації режимів з недопалом внесок викиду C і БП у сумарну шкідливість газів, що йдуть, збільшується всього до 7-8%, незважаючи на те, що як показали експерименти, вихід БП при режимах з недопалом збільшується в 1, 5-2 рази порівняно зі звичайним спалюванням.

Отже, режими з помірним недопалом є найбільш виправданими як з погляду екологічної безпеки, так і з погляду ефективного спалювання природного газу.

Слід зазначити, що робота на знижених надлишках повітря з помірним контрольованим недопалом пред'являє більш високі вимоги до стану котельного агрегату, роботі контрольованих вимірювальних приладів, а також до кваліфікації експлуатаційного персоналу й технологічній дисципліні.

Відомо, що більшість діючих у цей час на ТЕЦ котлів були введені в експлуатацію більш 20 років тому й, як правило, їхні експлуатаційні характеристики вже не повною мірою відповідають проектним величинам. Це в першу чергу відноситься до присосів холодного повітря в топкову камеру й газоходи котла, які перевищують нормовані значення, і рівномірності роздачі палива й повітря по пальниковому обладнанню.

Тому перед впровадженням режимів спалювання палива з контрольованим помірним недопалом слід провести ущільнення топки, перевірку штатних приладів і усунення перекосів у топково повітряних трактах.

Висновки та напрямок подальших досліджень. На основі наведеного дослідження можна зробити такі висновки.

Спалювання природного газу з контрольованим помірним недопалом дозволяє знизити викиди NO_x на 30-40 % при одночасній підвищенні КПД котла.

Сумарний показник шкідливості таких режимів в 1,5-2, 0 рази нижче, чим при звичайному спалюванні природного газу відповідно до режимної карти, а сумарний внесок монооксида вуглецю й бенз(о)пирена в загальну шкідливість викиду від котла в атмосферу не перевищує 3-7 %.

При цьому величина хімічного недопалу повинна бути обмежена змістом шкідливих домішок у димових газах за димососом (у перерахуванні на $a = 1,4$): для Z - не більш 100 ppm (125 мг/м³) і для БП - 60-100 нг/м³.

Отже, режими з контрольованим помірним недопалом є найбільш виправданими як з погляду екологічної чистоти, так і з погляду ефективного спалювання палива.

Впровадження режимів з контрольованим недопалом доцільно при модернізації АСУ ТП котла. Для цих цілей слід передбачити установку на котлі вимірювальних систем для контролю змісту O_2 , C і NO у продуктах згорання.

Список літератури

1. Ахмедов, Р. Б. Технология сжигания горючих газов и жидких топлив. – 2-е изд. перераб. и доп. / Р. Б. Ахмедов, Л. М. Цирюльников. – Л.: Недра, 1984. – 238 с.
2. Котлер, В. Р. Оксиды азота в дымовых газах котлов / В. Р. Котлер. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 144 с.
3. Разработка рекомендаций по снижению выбросов оксидов азота для газомазутных котлов ТЭС / П. В. Росляков [и др.] // Электрические станции. – 1991. – № 9.
4. Высокоэффективный способ снижения теплового и химического загрязнения атмосферы газифицированными котельными / Ю.М. Варфоломеев // «Энергобезопасность в документах и фактах» №5, 2005 г., издание «Московского Института Энергобезопасности и Энергосбережения», www.endf.ru
5. Содержание вредных веществ в дымовых газах и способы снижения их концентрации // 2006-2009 Водная техника™, domotronika.ua.

Рукопись поступила в редакцию 26.03.12

УДК 621.314.632

А.П. СІНОЛИЦЬЙ, д-р техн. наук, проф., В.А. КОЛЬСУН, канд. техн. наук., доц.,
Є.С. ДУБ, аспірант, Криворізький національний університет

КРИТЕРІЙ ВЗАЄМОВПЛИВУ І ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ В СИСТЕМАХ ГРУПОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

Статтю присвячено визначенню критеріїв оцінки показників взаємовпливу і електромагнітної сумісності за умови живлення і керування групою механізмів екскаватора від мережі обмеженої потужності. Встановлено гранич-