

ДОНБАСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

Андрійчук Микола Данилович

УДК 697.32

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ
ТЕПЛОГЕНЕРУЮЧИХ УСТАНОВОК
В УМОВАХ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ**

05.23.03 – вентиляція, освітлення та теплогазопостачання

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Макіївка - 2004

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Східноукраїнському національному університеті імені Володимира Даля Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор

СОКОЛОВ Володимир Ілліч,

Східноукраїнський національний університет
імені Володимира Даля, професор кафедри
гідрогазодинаміки

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор

ВИСОЦЬКИЙ Сергій Павлович,

Автомобільно-дорожній інститут Донецького
національного технічного університету,
завідувач кафедри „Екологія та БЖД”
доктор технічних наук, професор

КОРБУТ Вадим Павлович,

Київський національний університет
будівництва і архітектури, професор кафедри
теплогазопостачання і вентиляції

доктор технічних наук, професор

ДОРОШЕНКО Олександр Вікторович,

Одеська державна академія холоду,
професор кафедри технічної термодинаміки

Провідна установа: Харківська національна академія міського
господарства Міністерства освіти і науки України,
кафедра „Експлуатація газових і теплових мереж”

Захист відбудеться „10” лютого 2005 р. о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д12.085.01 при Донбаській національній академії будівництва і архітектури за адресою: 86123, Донецька обл., м. Макіївка, вул. Державіна, 2, перший учбовий корпус, зала засідань.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці ДонНАБА.

Автореферат розісланий “28” грудня 2004 р.

**Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради**

А.М. Югов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми

Системи тепlopостачання (СТП) є складовою частиною паливно-енергетичного комплексу України, що споживають більш 20% енергетичних ресурсів. Тому раціональне використання первинних енергетичних ресурсів (упровадження нових технологічних процесів, реконструкція та модернізація енерго- і паливоспоживаючого устаткування, зниження втрат палива, оптимізація режимів експлуатації теплогенеруючих установок (ТГУ) СТП, енергозбереження як додаткове джерело ресурсів палива, електричної і теплової енергії) мають особливо важливе народногосподарське значення.

На сучасному етапі розвиток паливно-енергетичного комплексу України здійснюється при безперервному комплексному екологічному моніторингу – систематичному зборі, обробці й аналізі інформації про стан навколишнього середовища, неухильному дотриманні вимог санітарно-гігієнічних норм і екологічної безпеки. У зв'язку із цим широке впровадження передових ресурсо- і енергозберігаючих технологій у СТП багато в чому пов'язано з вирішенням проблеми забезпечення економічної та технологічної ефективності ТГУ в умовах екологічного моніторингу.

Без системного підходу до процесів забезпечення теплових режимів ТГУ не можливо комплексно підійти до досягнення економічної, технологічної й екологічної ефективності СТП. Відсутність обґрунтованих відповідних регуляторів, що забезпечують сполучення високої ефективності та екологічності ТГУ, обумовлено недоліком достовірних математичних моделей, що описують динаміку термогазодинамічних процесів, поширення забруднень у навколишнім середовищі, які викликані їхньою роботою. Тому як підвищення ефективності ТГУ, так і досягнення їхньої екологічної безпеки повинне базуватися на комплексному науковому підході до моделювання, проектування й експлуатації. Особливо, це стосується перспективних ТГУ, коли через ряд нечітко визначених факторів неможлива побудова адекватних математичних моделей процесів.

Отже, реальним шляхом вирішення наявної актуальної науково-прикладної проблеми представляється побудова спеціалізованих систем забезпечення теплових режимів та розробка технічних рішень, що комплексно підвищують економічність та екологічність ТГУ.

Це дозволить забезпечити економічну, технологічну й екологічну ефективність СТП, широко використовувати накопичені вітчизняні та зарубіжні досягнення у сфері ресурсо- і енергозберігаючих технологій.

Зв'язок з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційна робота виконана в рамках Комплексної державної програми енергозбереження України, Програми енергозбереження в житлово-цивільному будівництві, Галузевої програми енергозбереження в житлово-комунальному господарстві, постанови Президії Національної академії наук України від 31.03 2004 р. № 96 про створення спільних підрозділів науково-дослідних установ Національної академії наук України і Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, Програми соціально-економічного розвитку Луганської області на 1999-2010 роки. Крім цього, дослідження є частиною держбюджетних і госпдоговірних тем СНУ ім. В.Даля (ГН-33-98, № ДР 0198U002859, ГН-16-01, № ДР 0101U003276, Т-27-98, Т-28-98, Т-100-01, та ін.).

Тема дисертації відповідає актуальним напрямкам науково-технічної політики України у рамках постанови Кабінету Міністрів України від 22.08.2000 р. № 1313 „Про затвердження програми запобігання і реагування на надзвичайні ситуації техногенного і природного характеру на 2000-2005 роки з метою комплексного вирішення проблем захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру, в інтересах безпеки окремої людини, суспільства, національного надбання і навколишнього середовища”.

Мета і задачі дослідження

Метою роботи є підвищення ефективності ТГУ на основі розробки й упровадження спеціалізованих систем забезпечення теплових режимів та технічних рішень, що комплексно поліпшують економічність та екологічність ТГУ.

Для досягнення поставленої мети сформульовані такі задачі:

- провести теоретичне дослідження процесів нестационарного теплообміну в системах ТГУ для оцінки структури й виду передатних функцій;
- виконати експериментальні дослідження динаміки натурних теплогенеруючих об'єктів з метою визначення адекватності математичної моделі нестационарного теплообміну в системах ТГУ;
- розвинути теорію систем забезпечення теплових режимів ТГУ у сфері ідентифікації об'єктів регулювання, вибору закону та розробки елементів спеціалізованих систем;
- визначити сфери раціонального використання нечіткого регулювання в спеціалізованих системах забезпечення теплових режимів ТГУ;
- розробити критерії оцінки значущості різних складових математичної моделі з метою її спрощення;
- на основі числового моделювання провести дослідження динамічних

характеристик систем забезпечення теплових режимів ТГУ, виконати експериментальну перевірку результатів чисельного моделювання ТГУ різної потужності й визначити оптимальні закони регулювання та настроювання регулятора;

- розробити для систем забезпечення теплових режимів ТГУ регулятори на основі елементів нечіткої логіки, виконати моделювання робочих процесів і оптимізацію їхніх конструктивних характеристик;
- розробити математичний апарат і програмне забезпечення для моделювання характеристик вентиляційних систем ТГУ, на основі якого запропонувати методики розрахунку, проектування й модернізації систем вентиляції з погляду їхньої економічності та забезпечення санітарно-гігієнічних норм;
- узагальнити та адаптувати до умов роботи ТГУ математичні моделі дифузійних процесів поширення викидів у навколишнє середовище, виконати експериментальну перевірку адекватності моделей і розробити методики розрахунку характеристик викидів;
- розробити оригінальні конструкції елементів ТГУ і спеціалізовані системи забезпечення теплових режимів, що підвищують економічність СТП в умовах екологічного моніторингу;
- впровадити результати досліджень на об'єктах житлово-комунального господарства.

Об'єкт дослідження - процеси теплообміну, дифузії, процеси забезпечення теплових режимів й вентиляції ТГУ СТП.

Предмет дослідження – характеристики ефективності ТГУ, нестационарні термодинамічні характеристики, характеристики викидів ТГУ.

Методи дослідження

Методологічну основу проведених автором досліджень складає системний підхід до моделювання термодинамічних і газодинамічних параметрів ТГУ на основі об'єктної декомпозиції систем. В основу математичних моделей покладені класичні рівняння термо- і газодинаміки (рівняння енергії, нерозривності і стану середовища, рівняння руху, рівняння тепло- і масопереносу). У ряді випадків використані емпіричні залежності й наближені формули, що є цілком припустимим при моделюванні таких складних об'єктів, якими є ТГУ СТП.

При виконанні експериментальних досліджень використані статистичні методи планування експерименту й обробки дослідних даних.

Достовірність наукових результатів дисертації підтверджується адекватністю даних, отриманих на математичних моделях, що обумовлено відповідністю прийнятих припущень характерові розв'язуваних завдань, обґрунтованим вибором контрольно-виміральної апаратури, методів обробки експериментальних даних.

Наукова новизна отриманих результатів

- на основі експериментальних досліджень динаміки діючих об'єктів ТГУ потужністю від 4 до 12 МВт уперше показано, що при навантаженні і розвантаженні об'єкта його постійні часу різні. Це дозволило обґрунтувати необхідність побудови спеціалізованих систем забезпечення теплових режимів для комплексного підвищення економічності та екологічності ТГУ;
- отримано передатні функції теплогенеруючого об'єкта при різних режимах його роботи як у зосереджених параметрах, так і в розподілених, показані сфери їх застосування, рішення математичної моделі проведено з використанням апроксимаційних виразів функцій Беселя, що істотно полегшує розрахунок процесу нестационарного теплообміну;
- вперше запропоновані критерії оцінки значущості членів математичної моделі ТГУ, що базуються на її динамічній декомпозиції та дозволяють спростити математичну модель без внесення істотних погрешностей у кінцевий результат;
- набула подальшого розвитку теорія систем забезпечення теплових режимів ТГУ у сфері ідентифікації об'єктів регулювання, побудови математичних моделей об'єктів, що дало змогу визначити закони регулювання, які підвищують як економічність ТГУ, так і їх екологічність;
- вперше обґрунтована доцільність використання регуляторів на елементах нечіткої логіки в системах забезпечення теплових режимів, що дозволило підвищити ефективність ТГУ;
- адаптована до умов роботи ТГУ математична модель процесу поширення викидів у навколишнє середовище, на основі чого запропонована методика розрахунку характеристик викидів.

Практичне значення та впровадження результатів дослідження

- визначено зону найбільш ефективного застосування регуляторів на базі елементів нечіткої логіки, показана перспективність використання цих регуляторів в автоматичних системах забезпечення теплових режимів ТГУ в умовах екологічного моніторингу;

- виконана оптимізація параметрів настроювань регулятора на базі елементів нечіткої логіки, що забезпечила необхідну якість перехідного процесу;
- розглянуті й вирішені питання „внутрішньої” екології ТГУ, на основі статичної декомпозиції отримана адекватна математична модель та методика розрахунку аеродинамічних характеристик вентиляційних систем ТГУ, що дозволяє визначати оптимальні конструктивні рішення як на стадії проектування вентиляційних систем, так і при їх модернізації;
- розроблено методику розрахунку характеристик викидів ТГУ, що дозволяє оцінити розподіл концентрації забруднень ТГУ в приземному шарі з урахуванням умов роботи СТП;
- розроблені й упроваджені на промислових підприємствах і об'єктах комунального господарства оригінальні регулятори на елементах нечіткої логіки для систем забезпечення теплових режимів ТГУ, конструкції газових пальників і системи автоматичного регулювання співвідношення паливо-повітря, які захищені патентами України. Показано, що застосування в комплексі цих заходів дозволило поліпшити економічні показники ТГУ та екологічну обстановку навколо них.

Результати дисертаційної роботи використані й упроваджені на Луганському обласному комунальному теплозабезпечуючому підприємстві „Луганськтеплокомуненерго”, Антрацитівському комунальному підприємстві „Теплокомуненерго”, Житомирському орендному підприємстві теплових мереж „Житомиртеплокомуненерго”, у Головному інституті проблем реконструкції, експлуатації та інженерного захисту промислових, житлових і цивільних об'єктів Академії будівництва України, у навчальному процесі Одеського національного політехнічного університету та ін., що підтверджується відповідними актами впровадження.

Особистий внесок здобувача

Наведені в дисертаційній роботі результати досліджень отримані здобувачем самостійно. Автором проведені теоретичні й експериментальні дослідження процесу нестационарного теплообміну в системах ТГУ, отримано рішення математичної моделі нестационарного теплообміну за допомогою апроксимацій функцій Бесселя; набула подальшого розвитку теорія систем забезпечення теплових режимів ТГУ в області ідентифікації об'єктів регулювання, побудови математичних моделей об'єктів і перевірки їх адекватності; визначена область доцільного використання регуляторів на елементах нечіткої логіки; на основі

динамічної декомпозиції математичних моделей запропоновані критерії оцінки значущості її членів, розроблені й застосовані в системах забезпечення теплових режимів ТГУ регулятори з елементами нечіткої логіки та визначені оптимальні з погляду перерегулювання й тривалості перехідного процесу коефіцієнти настроювань; знайдені оптимальні геометричні розміри використаних у регуляторі елементів нечіткої логіки, що забезпечують максимальну ширину зони пропускання частотного сигналу; вирішені питання „внутрішньої” і „зовнішньої” екології ТГУ; розроблені оригінальні конструкції елементів ТГУ і регулюючих пристроїв, що захищені патентами України і забезпечують високоефективну роботу СТП в умовах екологічного моніторингу; розроблена методика розрахунку характеристик викидів ТГУ, що дозволяє робити оцінку розподілу концентрації забруднень ТГУ у приземному шарі з урахуванням умов роботи СТП; упроваджені результати досліджень у СТП промислових підприємств і житлово-комунального господарства.

Апробація результатів роботи

Результати досліджень повідомлені, обговорені й схвалені на міжнародному науково-практичному семінарі „Пріоритети сталого розвитку великих міст” (м. Харків, 2004 р.), на VI, VII, VIII, IX міжнародних науково-практичних конференціях „Університет і регіон” (м. Луганськ, 2000-2003 рр.); міжнародній науково-технічній конференції „Енергозбереження, безпека, екологія в промисловості і комунальній сфері” (м. Ялта, 2003 р.), міжнародній науковій конференції „Актуальні проблеми механіки суцільних середовищ” (м. Мелекине, 2002 р.); на науково-практичній конференції „Донбас-2020. Охорона навколишнього середовища та екологічна безпека” (м. Донецьк, 2001 р.), на науково-технічних конференціях професорсько-викладацького СНУ ім. В.Даля (1998-2004 рр.), а також на науково-технічних конференціях ДонНАБА (2002-2004 р.).

У повному обсязі результати й висновки дисертаційної роботи доповідалися на розширеному засіданні кафедри „Гідрогазодинаміка” СНУ ім. В.Даля (2004 р.), кафедри „Теплотехніка, теплогазопостачання та вентиляція” ДонНАБА (2004 р.).

Публікації

Основний зміст дисертації опублікований у 32 роботах, з яких 5 монографій, 19 брошур і статей у наукових спеціалізованих журналах, 2 патенти України на винаходи і 2 позитивних рішення на заявки, 2 тези доповідей на міжнародних науково-технічних конференціях, 2 звіти про науково-дослідну роботу. У роботах, що опубліковані у співавторстві, здобувачеві належить наукова постановка задач, основні ідеї її вирішення, аналіз отриманих результатів і висновки.

Список основних публікацій з теми дисертації наведений наприкінці автореферату. Дані публікації не включені в кандидатську дисертацію і її автореферат.

Структура та обсяг дисертації

Дисертація складається зі вступу, семи розділів, висновків, списку використаних джерел з 273 найменувань на 25 сторінках, 7 додатків на 28 сторінках. Загальний обсяг дисертації 342 сторінки з яких 282 сторінки основного тексту, робота має 89 рисунків, 20 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі показана актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовані мета та задачі наукового дослідження, викладена наукова новизна, практична цінність та реалізація результатів роботи.

У першому розділі дисертації поданий розгорнутий огляд стану проблеми в емпіричному, теоретичному і практичному аспектах. Даний детальний аналіз робіт, присвячених математичному моделюванню нестационарних процесів теплообміну, побудови систем забезпечення теплових режимів ТГУ, вибору регуляторів і параметрів їхніх налаштувань, „внутрішньої” (вентиляційним процесам у ТГУ) і „зовнішньої” (процесам дифузії домішки в атмосфері) екології, конструкціям і характеристикам елементів СТП.

Зазначається, що великий обсяг досліджень у цих сферах здійснюється різними організаціями в Україні, країнах СНД далекого зарубіжжя. Ця проблематика широко представлена в роботах учених в галузі тепломасо-обміну, гідроаеродинаміки, вентиляції, процесів регулювання ТГУ і дифузійних процесів (Є.В. Бруяцький, М.А. Великанов, С.П. Висоцький, М.Г. Гайфутдинов, Г.Я. Дрозд, О.В. Голубева, С.А. Горожанкін, В.Ф. Городцов, В.Ф. Губар, С.О. Губар, О.В. Дорошенко, П.Л. Зінич, І.Є. Ідельчик, І.І. Капцов, В.П. Корбут, Л.Г. Лойцянский, Б.Ф. Лямаєв, О.В. Лук'янов, Ф.В. Недопьокін., І.Л. Повх, Рауз Х., Є.П. Стефані, М.Я. Фабрикант, Л.Г. Хачатурян, А.А. Худенко, Р.Р. Чугаєв, О.М. Яхно, В.М. Качан, А.В. Нетушила, В.Ф. Пашков, О.Ф. Редько, В.Б. Скрипніков, В.І. Соколов, А.Ф. Строй, О.Б. Ступін, В.М.Талієв, А.Я.Ткачук, Є.П. Уваров, В.М. Ужов, В.К. Хрущ, В.І. Шелудченко та ін.).

Розглянуті й проаналізовані математичні моделі розрахунку нестационарного теплообміну в елементах ТГУ, схеми систем забезпечення теплових режимів ТГУ, аерогідродинамічні характеристики потоків газу в каналах вентиляційних систем, процеси дифузії домішки викидів об'єктів тепlopостачання. Відзначено, що існуючі моделі й методики базуються в основному на

результатах значних експериментів і являють собою емпіричні залежності. Ця обставина ускладнює узагальнення результатів, визначення шляхів удосконалення окремих елементів ТГУ і всієї СТП в цілому, розробку методів підвищення надійності та економічності окремих пристроїв.

При аналізі теоретичних досліджень процесів тепломасообміну показано, що в переважній більшості робіт використовуються спрощені методики, засновані на експериментальних даних і ряді припущень, правомірність яких для складних інженерних споруджень багатоцільового призначення, якими є СТП, не підтверджена. Тому, у деяких випадках розрахункові й дослідні характеристики значно різняться. Крім цього, процеси розглядаються у відриві від вимог як „внутрішньої”, так і „зовнішньої” екології ТГУ.

На підставі виконаного аналізу теоретичних і експериментальних робіт за темою дисертації мета й конкретні завдання дослідження наведені на початку реферату.

Другий розділ присвячений теоретичним дослідженням нестационарного теплообміну в елементах ТГУ. Наявність у топкових камерах палаючого неізотермічного середовища, що рухається, температурне поле якого пов'язано з навантаженням теплогенеруючого об'єкта, а емісійні властивості змінні по довжині смолоскипа, не дозволяють зробити точний розрахунок теплообміну між смолоскипом і теплоносієм. Навіть для стаціонарних режимів роботи теплогенератора розрахунки побудовані на ряді спрощень.

У той же час, вибір регуляторів для систем ТГУ, що забезпечує оптимальний режим роботи як з погляду динаміки, так і показників ефективності, значною мірою визначається математичною моделлю нестационарного теплового процесу. Тому, у роботі певна увага приділена розробці математичних моделей нестационарного процесу теплообміну, що описують цей процес із різними припущеннями. Розглянуто процес у зосереджених параметрах, що справедливий при $\lambda/\alpha \rightarrow \infty$ (λ - коефіцієнт теплопровідності газу, що великий у порівнянні з коефіцієнтом тепловіддачі від стінки до теплоносія α). У цьому випадку температура теплоносія t_g зв'язувалася з температурою газу t_c виразом

$$t_g = t_c * (1 - \exp(-\tau / T)) , \quad (1)$$

де показник ступеня при експоненті виражався через безрозмірні критерії Біо Bi , Фур'є Fo і параметри форми S

$$-\frac{\tau}{T} = Bi * Fo * S \quad (2)$$

У випадку, коли $\lambda \gg a$, процес теплообміну описувався класичним диференціальним рівнянням теплопровідності. Детальний аналіз способів рішення подібного типу рівнянь, виконаний у роботі, показав, що найбільш прийнятним є метод розподілу змінних. Певну складність при розрахунку температурного поля викликає визначення функцій Бесселя $J_0(x)$ і

$J_1(x)$ ($x=kR$), що звичайно наводяться в літературі у вигляді таблиць. Нескінченні ряди в цих функціях сходяться дуже повільно, тому для практичного використання доцільно отримати наближені значення цих функцій, що давали би можливість підрахувати їх значення за допомогою невеликого числа членів. У роботі отримані апроксимаційні вирази для функцій Бесселя

$$J_0(x) = \frac{\cos(kx - \pi/4)}{\sqrt{0,5\pi x}}, \quad J_1(x) = \frac{\cos(kx - 3\pi/4)}{\sqrt{0,5\pi kx}}, \quad (3)$$

що істотно полегшило процес обчислення нестационарної температури теплоносія без утрати точності.

З урахуванням асимптотичних наближень (3) безрозмірна температура $\varepsilon = (t - t_0) / (t_c - t_0)$ визначалася виразами відповідно для $r=0$ і для $r>0$

$$\varepsilon = \frac{2}{R} \sum_0^{\infty} \frac{\exp(-\tau/T) \sqrt{0,5 \pi k_n R}}{k_n \cos(k_n R - 3\pi/4)} ;$$

$$\varepsilon = \frac{2}{R} \sum_0^{\infty} \frac{\exp(-\tau/T) \cos(k_n r - \pi/4) \sqrt{R}}{k_n \cos(k_n R - 3\pi/4) \sqrt{r}} ; \quad (4)$$

$$k_n = \frac{\pi n + 3\pi/4}{R}$$

У ряді пристроїв ТГУ поверхня теплообміну є досить складною й у цьому випадку одержати аналітичний опис зміни температури не представляється можливим, тому необхідно використовувати чисельні методи. У роботі використаний метод кінцевих різниць з попереднім вибором розрахункової сітки. Отримані залежності дозволили розрахувати нестационарну температуру теплоносія, визначити перехідну характеристику теплогенеруючого об'єкта та його передатну функцію.

У третьому розділі наведені результати експериментальних досліджень процесу нестационарного теплообміну в елементах ТГУ, де вирішувалися такі задачі:

1. Проектування і виготовлення експериментальної установки.
2. Вибір контрольно-вимірювальної та реєструючої апаратури.
3. Вибір випробувального сигналу.
4. Оцінка погрешності експерименту.

5. Проведення експерименту та обробка експериментальних даних.
6. Оцінка адекватності отриманих експериментальних та аналітичних даних.

Експериментальні дослідження в більшості випадків проводилися на натурних котлових установках, обладнаних котлами КВ-ГМ-10, ТВГ-8М, КСВ, ДЕ-4-13 ГМ, потужність яких від 4 до 12 Мвт. У процесі досліджень вимірялися: температура теплоносія на вході й виході котла; витрата теплоносія (води); витрата палива (газу).

Температура й витрата теплоносія вимірялися традиційними методами. Ефективність згоряння визначалася газоаналізатором EcoLine Plus, який вимірює концентрацію кисню (O_2), розраховує концентрацію двоокису вуглецю (CO_2) і видає безпосереднє значення ефективності горіння.

Таким чином, експериментальна установка та контрольно-вимірювальна апаратура дозволяла створювати змінні вхідні сигнали й реєструвати зміну температури теплоносія на вході та виході дослідного об'єкта.

Однією із завдань при проведенні експерименту був вибір іспитового сигналу. Іспитовий сигнал - один з компонентів методу дослідження (методу ідентифікації) і властивості сигналу при заданих вимогах до результату дослідження визначаються обраним методом.

Вимоги до параметрів іспитових сигналів виражаються у вимозі до їх точносних та часових (спектральних) властивостей. У більшості випадків перевага надається детермінованим іспитовим сигналам як більш точно відтвореним у порівнянні з випадковими. Детерміновані іспитові сигнали, як правило, мають типову форму. Серед типових виділяють три характеристичних сигнали: східчастий, імпульсний та гармонійний. У роботі обґрунтоване застосування східчастого іспитового сигналу й визначена погрішність, що вноситься його „неідеальністю”.

Перевірка адекватності математичної моделі в роботі виконувалася за критерієм Фішера. Його експериментальне значення не перевищувало табличного при ступені довірчої ймовірності 0,95, що дозволяло судити про адекватність математичних моделей.

Результати експериментів при нагріванні й охолодженні котла КВ-ГМ-10 приведені на рис.1.

Рис. 1. Динамічні характеристики котла КВ-ГМ- 10

Передатна функція теплогенератора знаходилася у вигляді

$$W(p) = \frac{\overline{T_r(p)}}{\theta_s(p)} = \frac{k_0 e^{-\tau p}}{(Tp + 1)^n} \quad (5)$$

Це викликано тим, що процес теплообміну від газу до теплоносія в котлі відбувається через досить товсту стінку, теплову інерційність якої необхідно врахувати. Коефіцієнт підсилення k_0 , час транспортного запізнювання τ , постійна часу T шукалися методом Хука-Дживса, критерієм оптимізації виступало середньоквадратичне відхилення дослідних і розрахункових даних (табл. 1).

Таблиця 1

Динамічні характеристики ТГУ

| марка котла параметри | КВ-ГМ-10 | ТВГ-8М | КСВ | ДЕ-4-13ГМ |
|---|----------|--------|-----|-----------|
| n | 3 | 3 | 3 | 3 |
| τ, c | 37 | 35 | 30 | 35 |
| постійна часу при навантаженні, c | 70 | 72 | 82 | 79 |
| постійна часу при розвантаженні, c | 85 | 80 | 96 | 90 |
| теплопродуктивність казана, $MВт$ | 11,6 | 9,7 | 4,2 | 7 |

Передатні функції при розігріві й остиганні ТГУ виявилися істотно різними, причому, якщо значення показника ступеня в передатній функції для всіх казанів однаково й дорівнює 3, то постійні часу при розігріві менше, ніж при охолодженні. Отриманий результат говорить про те, що лінійний регулятор (при будь-якому законі регулювання) не забезпечить оптимального процесу як з погляду швидкодії системи, так і її економічності. Для досягнення цієї мети необхідне використання регулятора зі змінними коефіцієнтами настроювань, змінною структурою або побудованих на основі нечітких множин.

У четвертому розділі досліджені процеси автоматизації генерування теплової енергії в умовах екологічного моніторингу. Відзначено, що якщо в стаціонарних режимах роботи вимоги екологічності ТГУ можуть бути забезпечені, то при змінних режимах (ТГУ працює в основному при змінних режимах) виконання цих умов вимагає розробки нових принципів регулювання, конструкцій ряду елементів ТГУ і регуляторів, що забезпечують якісне регулювання як з погляду тривалості перехідного процесу, так і величини перерегулювання.

Визначено можливість застосування різних нелінійних регуляторів і показано, що найбільш перспективними є регулятори на основі нечіткої логіки. Встановлений закон

регулювання, що забезпечує необхідну якість перехідного процесу й виконаний синтез регулятора (рис. 2).

Математичні моделі процесів, що протікають у ТГУ, мають досить складну систему нелінійних диференціальних рівнянь, що включають: математичну модель об'єкта регулювання; математичну модель регулятора, яка складається з датчика величини, що регулюється, перетворювача, власне регулятора, моделі виконавчого механізму й регулюючого органа, ліній зв'язку.

Дослідження динаміки процесів теплопостачання, оптимізацію настроювань параметрів регулятора доцільно проводити на спрощеній моделі, якщо є така можливість. При оцінці можливості спрощення математичної моделі до уваги повинні братися погрішності ідентифікації параметрів передатних функцій, вхідного сигналу, частотних характеристик тощо. Спрощення математичних моделей окремих ланок можна виконати за допомогою методів теорії чутливості.

Динамічна декомпозиція ґрунтується на концепції так званого модельного підходу. Якщо $\Delta y = \Delta y(t)$ і динамічні характеристики двох підсистем ТГУ істотно різні, то перехідні процеси в них можна підрозділити на „швидкі” і „тривалі”. Очевидно, що в цьому випадку досягнення нового стаціонарного стану всією системою визначається тривалим перехідним процесом. У зв'язку із цим, при розгляді нестационарної поведінки всієї системи можна знехтувати динамікою швидкого процесу. Такий підхід був використаний для спрощення математичної моделі системи автоматичного регулювання температури теплоносія. Отримано два критерії, на підставі яких може бути виконане спрощення моделі:

$$C_{r1} = \frac{\left| \sum_{p=1}^{r_i} T_{ip} a_p \right|}{\sum_{p=1}^{r_j} T_{jp} a_p} \quad \text{і} \quad C_{r1} = \frac{\omega_k}{\omega_j}, \quad (6)$$

де T_{ip} і T_{jp} - динамічний показник $i-i_c$ і $j-j_c$ підсистем; $a_p = +1$, якщо p -й показник характеризує постійну часу запізнювання або тривалість запізнювання; $a_p = -1$, якщо p -й показник характеризує постійну часу попередження.

Узагальнений показник дозволяє здійснити декомпозицію лінійних аперіодичних підсистем. При визначенні індексів підсумовування r_i і r_j виходили з того, що динамічна поведінка елемента ТГУ характеризується не більше, ніж чотирма величинами: постійними часу першого і другого порядку; часом запізнювання та постійною часу попередження. Якщо

відомі значення цих величин, то критерій C_{II} дозволяє вирішити питання про можливість динамічної декомпозиції. Практично можна вважати, що для динамічної декомпозиції двох підсистем досить, щоб виконувалася умова: $C_{II} > 20$ або $C_{II} < 0,05$.

Хоча критерій C_{II} і дозволяє порівняти динамічне поведіння підсистем, проте, він не дає інформації про співвідношення між динамічними властивостями розглянутої підсистеми й динамічними властивостями вектора вхідної величини $U(t)$ цієї підсистеми. Очевидно, що значні зміни вихідної величини $y(t)$ за наявності змін $U(t)$ виникають тільки в тому випадку, якщо власна частота j -ої підсистеми знаходиться у визначеному відношенні до верхньої граничної частоти ω_k вхідної величини. Якщо прийняти відношення: $C_{Ij} = \omega_k / \omega_j$ як критерій, то ситуації, що виникають при оцінці фільтруючих властивостей підсистеми ТГУ можна оцінити за допомогою критерію C_{PI} .

Для інженерних розрахунків можна покласти, що для динаміки важлива область відношення частот від двох до трьох декад. Тому, виконання нерівності $C_{PI} > 20 \dots 30$ вважалось достатньою умовою для квазістаціонарного моделювання j -ої підсистеми стосовно вхідної величини.

На рис. 3 показані приклади впливу 1-ої ланки структурної схеми на перехідну характеристику та помилка, викликана його відкиданням.

Рис. 3. Результати динамічної декомпозиції (вплив ланки 1 та помилка, що викликана його відкиданням, $C_{PI} = 0,04$)

Оптимізація настроювань регулятора виконана методом „порівняльної точки”, суть якого полягає в тому, що експерт задає в просторі цілей бажане рішення у виді сукупності чисельних значень усіх часткових критеріїв. Цей вектор і є порівняльною точкою. У режимі діалогу експерт задає „порівняльні точки” $\{z^1, z^2, \dots\}$. На ЕОМ щораз вирішується задача мінімізації цільової функції, при цьому знаходяться точки ефективної множини рішень $\{z^1, z^2, \dots\}$ і обчислюється оцінка відстані між відповідними точками z^i і z^i . Експерт, маючи уявлення про цілі оптимізації, задає координати порівняльних точок і оцінює ефективні рішення. Тим самим, у процесі оптимізації використовується особистий досвід, інтуїція, творчі ідеї. Знайдені таким способом коефіцієнти настроювань регулятора при його навантаженні та розвантаженні були застосовані в системах регулювання температури теплоносія ТГУ.

У цьому ж розділі виконана оптимізація конструктивних параметрів пневматичних елементів нечіткої логіки, використовуваних при побудові регулятора.

У якості факторів, що варіюються, обраний: діаметр сопла d_c і діаметр жорсткого

центра $d_{ц}$, що, як показали попередні експерименти, визначають ефективність роботи елемента. Підсумок варіювання та основний рівень кожного фактора подані в табл. 2, а в табл. 3 приведена матриця планування експерименту.

Таблиця 2

Вхідні дані. Кодування факторів

| рівень | -1,41 | -1 | 0 | 1 | 1,41 |
|--------------------|-------|-----|-----|-----|------|
| фактор | | | | | |
| $d_c, \text{мм}$ | 1,3 | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 2,8 |
| $d_{ц}, \text{мм}$ | 1,3 | 15 | 20 | 25 | 28 |

Таблиця 3

Матриця планування

| № | x_0 | x_1 | x_2 | $x_1 x_2$ | x_1^2 | x_2^2 | y |
|----|-------|-------|-------|-----------|---------|---------|------|
| 1 | 1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | 8,9 |
| 2 | 1 | -1 | 1 | -1 | 1 | 1 | 11,2 |
| 3 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 8,1 |
| 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 9,3 |
| 5 | 1 | -1,41 | 0 | 0 | 2 | 0 | 8,0 |
| 6 | 1 | 1,41 | 0 | 0 | 2 | 0 | 9,1 |
| 7 | 1 | 0 | -1,41 | 0 | 0 | 2 | 7,9 |
| 8 | 1 | 0 | 1,41 | 0 | 0 | 2 | 10,3 |
| 9 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11,8 |
| 10 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12,3 |
| 11 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12,4 |
| 12 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11,9 |

Рівняння регресії шукалося у вигляді

$$w = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_{11}x_1^2 + a_{22}x_2^2 + a_{12}x_1x_2. \quad (7)$$

З урахуванням критерію Кохрена та рівня значущості коефіцієнтів

$$w = 12,098 - 0,144x_1 + 0,863x_2 - 1,641x_1^2 - 1,364x_2^2 - 0,275x_1x_2. \quad (8)$$

Зіставлення первісних і перерахованих значень ширини зони пропускання ω подано в табл. 4, а на рис. 4 наведена залежність коефіцієнта ω від дослідних параметрів.

Таблиця 4

Зіставлення первісних і перерахованих значень y

| № | X ₁ | X ₂ | У _{оп} | У _{рас} |
|----|----------------|----------------|-----------------|------------------|
| 1 | -1 | -1 | 8,9 | 8,099 |
| 2 | -1 | 1 | 11,2 | 10,375 |
| 3 | 1 | -1 | 8,1 | 8,361 |
| 4 | 1 | 1 | 9,3 | 9,537 |
| 5 | -1,41 | 0 | 8,0 | 9,039 |
| 6 | 1,41 | 0 | 9,1 | 8,633 |
| 7 | 0 | -1,41 | 7,9 | 8,171 |
| 8 | 0 | 1,41 | 10,3 | 10,603 |
| 9 | 0 | 0 | 11,8 | 12,098 |
| 10 | 0 | 0 | 12,3 | 12,098 |
| 11 | 0 | 0 | 12,4 | 12,098 |
| 12 | 0 | 0 | 11,9 | 12,098 |

Розрахунки показали, що отримана апроксимаційна модель є адекватною й вона може бути використана для визначення оптимальних значень параметрів

Рис. 4. Залежність ширини зони пропускання від дослідних параметрів

П'ятий розділ присвячений моделюванню вентиляційних процесів у ТГУ. Системи вентиляції ТГУ відіграють важливу роль, забезпечуючи нормативні значення змісту шкідливих речовин у повітрі робочої або навколишньої зони, а також нормальний санітарно-гігієнічний стан повітря в приміщенні. Вибір раціональної схеми залежить від багатьох факторів: призначенням і особливостями приміщення, характеристиками та режимом роботи технологічного устаткування, кількістю шкідливих виділень і т.д. У роботі використані терміни „внутрішня” екологія ТГУ, під яким мається на увазі відповідність СНіП санітарно-гігієнічного стану повітря в приміщеннях ТГУ, і „зовнішня” екологія ТГУ - відповідність СНіП обсягу викидів шкідливих речовин, їхньої концентрації, зони розсіювання і т.п.

Таким чином, досягнення „внутрішньої” і „зовнішньої” екологічності ТГУ є важливою проблемою й вимагає вдосконалення їхніх вентиляційних систем.

Основні задачі, що розв'язуються при розрахунку систем вентиляції в процесі проектування, налагодження та експлуатації, такі.

На етапі проектування будь-якої вентиляційної системи відбувається розробка її математичної моделі, що дозволяє проаналізувати умови спільної роботи споруджень, апаратів, нагнітачів та інших пристроїв. Через відхилення при виготовленні й монтажі обладнання, їх характеристики в реальних умовах відрізняються від прийнятих при проектуванні. Тому, остаточний висновок про спільну роботу елементів системи вентиляції можна зробити після проведення її налагодження.

У процесі експлуатації з'ясовується оптимальний варіант спільної роботи основних елементів, визначаються їх реальні аеродинамічні характеристики.

Дослідження, що проведені на уточненій математичній моделі з урахуванням реальних характеристик конструктивних елементів, які отримані під час експлуатації, дозволяють визначати терміни ремонтно-відбудовчих робіт, аналізувати аварійні ситуації, оцінювати вплив різних конструктивних, технологічних параметрів на роботу системи.

У роботі використаний системний підхід до розрахунку й прогнозування стаціонарних режимів роботи довільних систем вентиляції, заснований на статичній декомпозиції системи (її розчленування) на типові розрахункові та структурні елементи. Під розрахунковим елементом системи брався один із пристроїв реальної системи. Поняття елемента системи є відносним, тому що під ним може матися на увазі й сукупність декількох простих пристроїв.

За конструктивними і технологічними принципами виділені такі розрахункові елементи: джерела напорів або нагнітачі (вентилятори, повітродувки, димососи, компресори і т.п.); конструктивні ділянки магістралей, якими здійснюється рух газового середовища; напірно-регулюючі пристрої (засувки, місцеві опори і т.п.); технологічні пристрої, що здійснюють викид або добір робітничого середовища із системи (наприклад, вихідна вентиляційна труба ТГУ для викиду в атмосферу).

Якщо для кожного з елементів вентиляційної системи ТГУ складені математичні моделі, що засновані на рівняннях збереження маси, рівняннях енергії та апроксимаційних характеристиках джерел напорів, то для всієї системи можна скласти узагальнену математичну модель, у яку ввійдуть KU рівнянь нерозривності (балансу витрат) у вузлових точках, KK рівнянь утрат напорів в замкнутих контурах системи, $KU-1$ рівнянь зв'язку напорів у вузлових точках:

У системі (9) Q_n - витрата робочого середовища, що подається джерелом напорів або відбирається (викидається) з n -го вузла; $q_{n,p}$ - витрата, що втікає або витікає з цього вузла по

ділянці повітроводу, підключеному до цього вузла; MU - число ділянок, підключених до вузла; p_n, p_{n+1} - повні тиски у вузлах; $\Sigma p_{v,n,n+1}$ - сума характеристик джерел напору, встановлених між вузлами; $\Delta p_{cm,n,n+1}$ - статичний перепад тисків між вузлами, що враховує різницю температур; $\Sigma \Delta p_{py,n,n+1}$ - сума перепадів тисків на запірно-регулюючих пристроях; $\Sigma \Delta p_{n,n+1}$ - сума втрат тиску на ділянках повітроводів; SV - число джерел напору між вузлами; SP - число запірно-регулюючих пристроїв; SK - число ділянок повітроводів; NK - число лінійних (міжвузлових) ділянок, що входять до складу замкнутого контуру; $\Sigma (\Delta p)_{s,j,i}, \Sigma (\Delta p_{py})_{s,j,i}, \Sigma (p_v)_{s,j,i}$ - відповідно суми втрат тисків на ділянках повітроводів, на запірно-регулюючих пристроях, сума повних тисків джерел напору на j -ій лінійній ділянці.

Використання узагальненої математичної моделі для розрахунку довільної системи потребує завдання наступних основних вхідних даних: схема розташування елементів у системі; довжини, діаметри, шорсткість внутрішньої поверхні конструктивних ділянок і коефіцієнти встановлених місцевих опорів; аеродинамічні характеристики напірно-регулюючих пристроїв; характеристики джерел напору; висотні відмітки й значення температури у вузлових точках; фізичні властивості робочого середовища; граничні умови (величини тисків і температури, а також висотні відмітки в місцях забору та викиду робочого середовища).

Наведена вище математична модель була використана при модернізації вентиляційних систем деяких котельень, проектуванні витяжної вентиляції, визначення взаємовпливу паралельно працюючих вентиляційних систем.

Основним практичним додатком математичної моделі вентиляційної системи є використання її для визначення сумарного викиду ТГУ - граничної умови для розрахунку забруднень навколишнього середовища. При цьому, узагальнена математична модель розглядалася для системи з єдиним вихідним каналом і включала рівняння для таких основних параметрів: загальної витрати на виході, напору на вході вихідного каналу, рівнянь Бернуллі для лінійних ділянок. Система рівнянь має вид

У рівняннях (10) a_{ij}, b_{ij}, c_{ij} - коефіцієнти апроксимації характеристики i, j -го нагнітача; Q_i - витрата на i -ій лінійній ділянці, $R_{ex,i}$ і $p_{cm,i}$ - ($i=1, 2, \dots, I$) наведені опори на вході лінійних ділянок і потрібні статичні тиски; R_{ij} ($i=1, 2, \dots, I$; $j=1, 2, \dots, J$) - наведені опори ділянок магістралей на виході кожного нагнітача, $p_{cm,mp}$ і $R_{вых}$ - потрібний статичний тиск і наведений опір централізованої вентиляційної труби ТГУ.

У шостому розділі розглянуті дифузійні процеси домішки (питання “зовнішньої екології”). Для прогнозу забруднення навколишнього середовища, визначення тенденції забруднення повітря та з'ясування впливу різних факторів на інтенсивність забруднення розроблені математичні моделі, що дозволяють проводити обчислювальний експеримент і прогнозувати різноманітні ситуації поширення забруднень.

Математичні моделі для аналізу й прогнозу якості повітря дозволяють визначити кількісний склад забруднюючих речовин в атмосфері з погляду відповідності цього складу існуючим стандартам.

У таких прогнозах за вхідні дані прийняті характеристики викидів і умови поширення забруднюючих речовин, які дозволяють однозначно оцінити концентрацію домішки в навколишнім повітрі і її кількість, що осаджується на земну поверхню, та є підсумковими вихідними даними моделі. Ці дані використовуються в подальшому для аналізу статичного, динамічного впливу забруднюючих речовин на рецептори живих організмів, рослин, погоду та клімат.

Особливістю завдань, зв'язаних із процесом поширення шкідливих речовин у природних середовищах, є наявність великої кількості параметрів, які прямо або побічно впливають на процес міграції домішки. Для опису процесів поширення шкідливих речовин використовуються математичні моделі різної складності.

Фізичні механізми переносу й викиду забруднюючих речовин описувалися диференціальним рівнянням:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varphi}{\partial t} + \frac{\partial u\varphi}{\partial x} + \frac{\partial v\varphi}{\partial y} + \frac{\partial (w - w_s)\varphi}{\partial z} + \sigma\varphi = \\ = \operatorname{div}(\mu\nabla\varphi) + q(t)\delta(r - r_0(t)), \end{aligned} \quad (11)$$

де φ – концентрація забруднюючої речовини в одиниці об'єму повітря; u , v , w – компоненти вектора швидкості повітряного середовища в декартовій системі координат x , Y , Z , площина $ХОУ$ відповідає поверхні Землі; w_s – швидкість гравітаційного осідання вагомих часток забруднюючої речовини; σ – коефіцієнт розпаду, хімічного розкладання забруднення, враховує зміну концентрації домішки з часом; $\mu = (\mu_x, \mu_y, \mu_z)$ – коефіцієнти турбулентної дифузії; q_i – інтенсивність точкових джерел забруднення; $r_0 = (x_0, y_0, z_0)$ – місце розташування точкових джерел забруднення; $\delta(r - r_0)$ – дельта-функція Дірака; t – час.

Диференціальне рівняння (11) без джерел викидів у випадку постійної по просторових координатах концентрації $\varphi = \text{const}$ і відсутності хімічного розкладання $\sigma = 0$ повинне мати

рішення виду $\varphi = const$, тобто забезпечувати збереження маси домішки при довільному конвективному переносі. Тому також розглядалося рівняння нерозривності, що накладається на поле швидкості переміщення повітря.

Математична модель розглянутого процесу являє собою систему диференціальних рівнянь у частинних похідних. Точне рішення цього рівняння, у загальному випадку, не існує. Тому для одержання значень концентрації домішки в області забруднення використаний чисельний метод – метод кінцевих елементів. Деякі результати розрахунку розподілу домішки у викидах вентиляційної системи через трубу висотою 40 метрів наведені на рис. 5, 6.

Отримана математична модель і програма її реалізації була використана для розрахунку забруднень поруч ряду котелень Луганської області, розподілу концентрації забруднень на поверхні землі.

Рис. 5. Розподіл концентрації, $мг/м^3$
уздовж напрямку вітру ($u = 7 м/с$)

Рис. 6. Розподіл концентрації, $мг/м^3$ забруднень
на поверхні землі від дії точкового джерела
для швидкості вітру $u = 4 м/с$

Сьомий розділ присвячений використанню запропонованих методик моделювання й розрахунку параметрів вентиляційних систем та дифузійних процесів, розробці оригінальних пристроїв та елементів ТГУ СТП, розрахунку їх характеристик, упровадженню та визначенню показників їх ефективності.

Показаний вплив коефіцієнта надлишку повітря й неповноти змішання газу з повітрям на концентрацію оксидів азоту в продуктах згорання та ефективності роботи котлової установки. Збільшення коефіцієнта надлишку повітря, крім зменшення ККД ТГУ, призводить до збільшення оксидів азоту в димових газах, аналогічний ефект має неповнота змішання газу з повітрям. Для усунення цих недоліків розроблені пальники з використанням різного виду турбулізаторів та система підтримки (або програмної зміни) постійного значення коефіцієнта надлишку повітря, на які отримані патенти України.

На котельнях Луганської області була проведена модернізація газових інжекційних пальників котлоагрегатів з метою поліпшення якості газоповітряної суміші, що готується. Модернізація полягала в тому, що змішувальні камери стандартних інжекційних пальників із

гладкою внутрішньою поверхнею замінені вставками, утримуючими на внутрішній поверхні трикутні кільцеві канавки. Кільцеві канавки призначені для додаткової турбулізації газоповітряного потоку, інтенсифікації процесу перемішування газу й повітря, одержанню, завдяки цьому, більш гомогенної газоповітряної суміші. У результаті вдається забезпечити повне згоряння газоподібного палива при більш низькому значенні коефіцієнта надлишку повітря, що приводить до зниження токсичних речовин у викидах котелень через димарі. Крім цього, котельні були обладнані системами автоматичної підтримки оптимального коефіцієнта надлишку повітря.

Перед установкою модернізованих пальників і спеціалізованої системи забезпечення теплового режиму та після неї проведено вимірювання кількості токсичних забруднень у викидах продуктів згоряння котелень через димові труби.

Виконані виміри показали, що в результаті модернізації газових пальників і установки систем регулювання вдалося знизити кількість токсичних викидів у продуктах згоряння котелень за всіма показниками. Середнє зниження змісту оксидів азоту, вуглецю, сірки, а також золи по всім задіяним в експерименті котельням складає від 5 до 8%, збільшення ККД від 0,8 до 1%.

Результати дисертаційної роботи використані й упроваджені на Луганському обласному комунальному теплозабезпечуючому підприємстві “Луганськтеплокомуненерго”, Антрацитівському комунальному підприємстві „Теплокомуненерго”, Житомирському орендному підприємстві теплових мереж „Житомиртеплокомуненерго”, у Головному інституті проблем реконструкції, експлуатації та інженерного захисту промислових, житлових і цивільних об’єктів Академії будівництва України, у навчальному процесі Одеського національного політехнічного університету та ін., що підтверджується відповідними актами впровадження.

Впровадження наукових й практичних результатів дозволило одержати економічний ефект та економію валютних коштів за рахунок скорочення термінів і витрат на реконструкцію й модернізацію ТГУ, оптимізації вкладення коштів у підвищення рівня технічної оснащеності СТП, відмовлення від використання імпортного обладнання тощо.

Економічний ефект від впровадження запропонованих рішень на об’єктах житлово-комунального господарства Луганської області склав понад 1 млн. 300 тис. грн.

ВИСНОВКИ

На базі виконаного комплексу теоретичних і експериментальних досліджень статичних і динамічних характеристик ТГУ різної потужності, вентиляційних систем та дифузійних процесів викидів ТГУ в навколишнє середовище вирішена важлива науково-технічна

проблема підвищення ефективності роботи ТГУ в технічному, економічному, соціальному та екологічному відношенні. За результатами досліджень зроблені такі висновки:

1. Науково обґрунтовані принципи побудови спеціалізованих систем забезпечення теплових режимів ТГУ, розробка й впровадження яких дозволяє комплексно підвищити економічність та екологічність ТГУ.

2. На основі експериментальних досліджень динамічних характеристик на діючих ТГУ (котлоагрегати КВ-ГМ-10, ТВГ-8М, ДЕ-4-13 ГМ та ін.) уперше показано, що при навантаженні і розвантаженні об'єкта його постійні часу різні. Це дозволило обґрунтувати необхідність побудови спеціалізованих систем забезпечення теплових режимів, що реалізують оптимальні закони регулювання як з погляду економічності ТГУ, так і екологічності.

3. На основі математичного моделювання отримана структура передатної функції теплогенеруючого об'єкта у різних режимах його роботи як у зосереджених параметрах, так і в розподілених, показані сфери їх застосування.

4. Визначено зону найбільш ефективного застосування регуляторів на базі елементів нечіткої логіки, показана перспективність використання цих регуляторів в автоматичних системах забезпечення теплових режимів ТГУ в умовах екологічного моніторингу.

5. Запропоновані критерії оцінки значущості складових математичної моделі ТГУ, які базуються її на динамічній декомпозиції, що дозволяють спростити математичну модель без внесення істотних погрешностей.

6. Виконано оптимізацію параметрів настроювань регулятора на базі елементів нечіткої логіки, що забезпечило необхідну якість перехідного процесу з перерегулювання та його тривалості.

7. Розроблені й впроваджені в системах забезпечення теплових режимів ТГУ регулятори на базі елементів нечіткої логіки, у яких попередньо знайдені оптимальні геометричні параметри елементів, що забезпечують максимальну ширину зони пропускання частотного сигналу.

8. Розглянуті та вирішені питання „внутрішньої” екології ТГУ. На основі статичної декомпозиції отримана адекватна математична модель аеродинамічних характеристик вентиляційних систем ТГУ, що дозволяє знайти оптимальні конструктивні рішення як на стадії проектування систем, так і при їх модернізації.

9. Комплексно розглянуті дифузійні процеси викидів ТГУ в атмосферу, виконано математичне моделювання процесів, обраний й обґрунтований метод інтегрування, перевірена та підтверджена адекватність математичної моделі, на основі якої виконаний ряд

розрахунків із забруднення навколишнього середовища ТГУ, що дозволило намітити та реалізувати шляхи поліпшення екологічної обстановки.

10. Розроблені й упроваджені оригінальні конструкції газових пальників та системи автоматичного регулювання співвідношення паливо-повітря, які захищені патентами України. Показано на основі натурних випробувань, що застосування пальників і спеціалізованої системи дозволило істотно поліпшити як економічність ТГУ, так і екологічну обстановку навколо них. Досягнуто середнє зниження у викидах ТГУ вмісту оксиду азоту, сірки і золи від 5 до 8% та збільшення ККД від 0,8 до 1%.

11. Наукові й практичні результати впроваджені на промислових підприємствах, об'єктах комунального господарства, у науково-дослідних організаціях, що дозволило одержати економічний ефект та економію валютних коштів за рахунок скорочення термінів і витрат на реконструкцію й модернізацію ТГУ, оптимізації вкладення коштів у підвищення рівня технічної оснащеності СТП, відмовлення від використання імпортного обладнання тощо. Економічний ефект від упровадження запропонованих рішень на об'єктах житлово-комунального господарства Луганської області склав понад 1 млн. 300 тис. грн.

ОСНОВНІ ПУБЛІКАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ:

1. Андрийчук Н.Д. Теплогенерирующие установки: моделирование, автоматизация, экология: монография. - Луганск: ВНУ им. В.Даля, 2004. - 240 с.

2. Андрийчук Н.Д., Соколов В.И., Коваленко А.А., Дядичев К.М. Пути совершенствования систем теплоснабжения: монография. - Луганск: ВНУ им. В.Даля, 2003. - 244 с.

3. Андрийчук Н.Д. Повышение технологической эффективности элементов систем теплоснабжения: монография. – Луганск: ВНУ им. В.Даля, 2002. – 104 с.

4. Андрийчук Н.Д., Баранич Ю.В., Подлесная С.В., Адамчо Я.В. Нечеткая логика в системах регулирования теплогенерирующих установок: монография. - Луганск: ВНУ им. В.Даля, 2004. - 68 с.

5. Андрийчук Н.Д., Гусенцова Я.А., Адамчо Я.В. Моделирование процессов диффузии техногенных загрязнений в атмосфере: монография. – Луганск: ВНУ им. В.Даля, 2004. - 60 с.

6. Андрийчук Н.Д. Эффективность централизованного теплоснабжения малой мощности: научное издание. – Луганск: ВНУ им. В.Даля, 2002. – 24 с.

7. Андрийчук Н.Д., Подлесная С.В., Баранич Ю.В. Экспериментальное определение динамических характеристик объектов систем теплоснабжения: научное

издание. - Луганск: ВНУ им. В.Даля, 2003. - 19 с.

8. Андрийчук Н.Д., Тищенко В.А., Минин С.А. Модель диффузии техногенных выбросов: научное издание. - Луганск: ВНУ им. В.Даля, 2004. - 24 с.

9. Андрийчук Н.Д. Способы совершенствования процесса сгорания газа в теплогенерирующих установках: научное издание. – Луганск: ВНУ им. В.Даля, 2004. – 24 с.

10. Андрийчук Н.Д. Технологическая эффективность структурно-схемных решений по сетям централизованного теплоснабжения малой мощности // Вісник ДонДАБА. Серія „Інженерні системи та техногенна безпека у будівництві”. - 2002. - № 4 (35). - С. 80-81.

11. Андрийчук Н.Д. Повышение технологической эффективности структурно-схемных решений по сетям централизованного теплоснабжения малой мощности // Коммунальное хозяйство городов. Науч.-техн. сб. Серия “Технические науки и архитектура”. – К.: Техника, 2003. - № 47 – С. 189-191.

12. Андрийчук Н.Д., Савельев А.В. Пути повышения эффективности централизованного теплоснабжения малой мощности // Коммунальное хозяйство городов. Науч.-техн. сб. Серия „Технические науки и архитектура”. – К.: Техника, 2003. - № 47 – С. 172-175.

13. Андрийчук Н.Д., Коваленко А.А., Подлесная С.В., Соколов В.И. Моделирование нестационарного процесса теплообмена в теплогенерирующих установках // Вісн. Східноукр. нац. ун-ту ім. В.Даля. – 2003. - № 9(67).- С. 234-238.

14. Подлесная С.В., Андрийчук Н.Д., Адамчо Я.В. Оптимизация характеристик переходных процессов системы автоматического регулирования температуры теплогенерирующей установки // Вісн. Східноукр. нац. ун-ту ім. В.Даля. – 2003. - № 12(70).- С. 171-174.

15. Андрийчук Н.Д., Соколов В.И., Подлесная С.В. Определение выбросов в атмосферу теплогенерирующих установок // Коммунальное хозяйство городов. Науч.-техн. сб. Серия „Технические науки и архитектура”. – К.: Техника, 2003. - № 53 – С. 105-109.

16. Андрийчук Н.Д., Соколов В.И., Подлесная С.В. Моделирование характеристик вентиляционных систем теплогенерирующих установок // Коммунальное хозяйство городов. Науч.-техн. сб. Серия „Технические науки и архитектура”. – К.: Техника, 2003. - № 53 – С. 124-128.

17. Андрийчук Н.Д. Управление коэффициентом избытка воздуха в инжекционных газовых горелках // Вісник ДонДАБА. Серія „Інженерні системи та техногенна безпека у будівництві”. - 2003. - № 4 (41). - С. 56-58.

18. Подлесная С.В., Андрийчук Н.Д., Гусенцова Я.А. Декомпозиция сложных

вентиляционных систем теплогенерирующих установок // Зб. наук. праць ЛНАУ. Серія „Технічні науки”. - 2004. - № 32 (44). - С. 74-78.

19. Андрийчук Н.Д. Об учете динамических характеристик подсистем теплогенерирующих установок // Коммунальное хозяйство городов. Науч.-техн. сб. Серия „Технические науки и архитектура”. – К.: Техника, 2004. - № 55. – С. 90-94.

20. Андрийчук Н.Д., Подлесная С.В., Савельев А.В. Синтез регуляторов температуры теплоносителей теплогенерирующей установки // Вісн. Східноукр. нац. ун-ту ім. В.Даля. – 2004. - № 7(77).- Ч.2. - С. 250-254.

21. Андрийчук Н.Д. Моделирование процесса диффузии загрязнений теплогенерирующих установок в атмосфере // Вісник ДонДАБА. Серія „Інженерні системи та техногенна безпека у будівництві”. - 2004. - № 4 (46). - С. 3-6.

22. Андрийчук Н.Д. Снижение загрязнений окружающей среды теплогенерирующими установками // Коммунальное хозяйство городов. Науч.-техн. сб. „Приоритеты устойчивого развития крупных городов”. – К.: Техника, 2004. - № 57. – С.216-220.

23. Гусенцова Я.А., Андрийчук Н.Д., Коваленко Р.И., Пастушкова И.Д. Динамическая декомпозиция математической модели процесса регулирования температуры теплогенерирующих установок // Зб. наук. праць ЛНАУ. Серія „Технічні науки”. - 2004. - № 41 (53). - С.99 - 104.

24. Патент України № 62213А, F23 D 14/00. Система регулювання співвідношення газ-повітря в інжекційних газових пальниках / Андрійчук М.Д., Коваленко А.О., Дядичев К.М., Соколов В.І., Баранич Ю.В. Опубл. 15.12.2003. Бюл. № 12.

25. Патент України № 64242А, F15 В 3/02. Інжекційний газовий пальник / Андрійчук М.Д., Коваленко А.О., Дядичев К.М., Соколов В.І., Баранич Ю.В. Опубл. 16.02.2004. Бюл. № 2.

26. Позитивне рішення на заявку № 2004010668. Пневматичний елемент високого тиску „І” нечіткої логіки / Андрійчук М.Д., Баранич Ю.В., Коваленко А.О., Подлесна С.В., Адамчо Я.В., Гусенцова Я.А., Кондауров Є.М.

27. Позитивне рішення на заявку № 2004010669. Пневматичний елемент високого тиску „АБО” нечіткої логіки / Андрійчук М.Д., Баранич Ю.В., Коваленко А.О., Подлесна С.В., Адамчо Я.В., Гусенцова Я.А., Кондауров Є.М.

28. Kovalenko, A., Baranich, J., Andrichuk, N. “Dynamic Characteristics of Fuzzy Logical Pneumatic Elements”, Transaction of Ghulam Ishaq Khan Institute of Engineering Science and Technology, Vol. 1, No. 1, January 2004.

29. N. Andrichuk, S. Podlesnaya. Non-stationary process of heat exchange in heart

generating installations // Зб. наук. праць Східноукр. нац. ун-ту ім. В.Даля (Матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції „Університет і регіон” 10-12 грудня 2003 року): Науковці - підприємствам і установам регіону. - Луганськ: СНУ ім. В.Даля, 2003. - Ч. 2.

30. Андрийчук Н.Д., Савельев А.В. Моделирование вентиляционных систем теплогенерирующих установок объектов жилищно-коммунального хозяйства // Зб. наук. праць Східноукр. нац. ун-ту ім. В.Даля (Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції „Університет і регіон” 25-26 грудня 2002 року): Науковці - підприємствам і установам регіону. - Луганськ: СНУ ім. В.Даля, 2002. - Ч.2. - С. 291.

31. Теория и методы анализа и моделирования газодинамических характеристик промышленных выбросов техногенно-опасных объектов: Отчет о НИР. ГР № 0101U003276.- Луганск: ВНУ им. В.Даля, 2003.- 65 с.

32. Пути реализации энергосберегающих технологий в системах теплоснабжения Луганской области: Отчет о НИР. ГР № 0103U000136. - Луганск: ВНУ им. В.Даля, 2004. - 137 с.

У роботах, які опубліковані в співавторстві, здобувачу належать наукова постановка задач, основні результати теоретичних й експериментальних досліджень процесу нестационарного теплообміну в системах ТГУ, рішення математичної моделі нестационарного теплообміну за допомогою апроксимацій функцій Беселя (2, 13, 29); ідентифікація ТГУ як об'єктів регулювання СТП, побудова їх математичних моделей і перевірка адекватності (2, 7); області доцільного використання регуляторів на елементах нечіткої логіки (4, 28); критерії оцінки значущості членів математичних моделей ТГУ (23), оптимальні з погляду перерегулювання й тривалості перехідного процесу коефіцієнти настроювань та оптимальні параметри елементів нечіткої логіки регуляторів температури теплоносія (4, 7, 14, 20); постановка і вирішення питань „внутрішньої” і „зовнішньої” екології ТГУ (2, 8, 15, 16, 18, 30, 31); оригінальні конструкції елементів ТГУ і регулюючих пристроїв (24, 25, 26, 27); методики розрахунку характеристик викидів ТГУ (5, 8, 15, 31); упровадження результатів досліджень у СТП промислових підприємств і житлово-комунального господарства (12, 31, 32).

АНОТАЦІЯ

Андрийчук М.Д. Підвищення ефективності теплогенеруючих установок в умовах екологічного моніторингу. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.03 – вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. – Донбаська національна академія будівництва і архітектури Міністерства освіти і науки України, Макіївка, 2005.

Дисертація присвячена проблемі забезпечення економічної та технологічної ефективності ТГУ в умовах екологічного моніторингу. Науково-прикладна проблема вирішена побудовою спеціалізованих систем забезпечення теплових режимів та розробкою технічних рішень, що комплексно підвищують економічність та екологічність ТГУ.

Розроблені й упроваджені оригінальні конструкції газових пальників і системи автоматичного регулювання співвідношення паливо-повітря, які захищені патентами України. На основі натурних випробувань показано, що застосування технічних і системних рішень дозволяє одночасно підвищити економічність ТГУ та екологічну обстановку навколо них.

Основні результати знайшли застосування на об'єктах житлово-комунального господарства України.

Ключові слова: теплогенеруючі установки, теплообмін, викид, декомпозиція, метод, моделювання, дифузія, чисельні засоби.

АННОТАЦІЯ

Андрійчук Н.Д. Повышение эффективности теплогенерирующих установок в условиях экологического мониторинга. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.23.03 – вентиляция, освещение и теплогазоснабжение. – Донбасская национальная академия строительства и архитектуры Министерства образования и науки Украины, Макеевка, 2005.

Диссертация посвящена решению проблемы обеспечения экономической и технологической эффективности ТГУ в условиях экологического мониторинга.

Анализ опыта эксплуатации СТС жилищно-коммунального хозяйства показал отсутствие обоснованных способов и соответствующих систем, обеспечивающих сочетание высокой экономичности и экологичности ТГУ. На основании комплексных экспериментальных исследований на реальных объектах динамики ТГУ мощностью от 4 до 12 МВт впервые выявлены отличительные закономерности термодинамических процессов, протекающие в СТС, и проведена идентификация широкого ряда котлоагрегатов как объектов регулирования.

Определена зона наиболее эффективного применения регуляторов на базе элементов нечеткой логики, показана перспективность их использования в системах обеспечения тепловых режимов ТГУ в условиях экологического мониторинга.

Впервые предложены критерии оценки членов математических моделей элементов и систем ТГУ, базирующиеся на ее динамической декомпозиции, которые позволяют упрощать математические модели без внесения существенных погрешностей в результаты расчетов.

На основе численного моделирования проведены исследования динамических характеристик систем обеспечения тепловых режимов ТГУ, выполнена экспериментальная проверка результатов численного моделирования ТГУ различной мощности, определены оптимальные законы регулирования и настройки регулятора.

Рассмотрены и решены вопросы “внутренней экологии” ТГУ. На основе статической декомпозиции получены адекватные газодинамические характеристики вентиляционных систем ТГУ, позволяющие найти оптимальные конструктивные решения как на стадии проектирования вентиляционных систем, так и в процессе их модернизации.

Построен строгий математический аппарат для исследования диффузионных процессов выбросов ТГУ, на основе которого выполнен комплекс расчетов по оценке загрязнений ТГУ и намечены пути улучшения экологической обстановки.

Разработаны и внедрены оригинальные конструкции газовых горелок и системы автоматического регулирования соотношения топливо-воздух, защищенные патентами Украины. На основе натурных испытаний показано, что применение технических и системных решений позволяет одновременно повысить экономичность ТГУ и экологическую обстановку вокруг них. По результатам замеров на модернизированных котельных установках Луганской области удалось по основным показателям снизить количество токсичных выбросов в продуктах сгорания. Среднее снижение содержания оксидов азота, углерода, серы, а также золы, составляет 5-8% при увеличении коэффициента полезного действия на 0,8-1%. Основные результаты нашли применение на объектах жилищно-коммунального хозяйства Украины.

Ключевые слова: теплогенерирующая установка, нестационарный теплообмен, выброс, декомпозиция, моделирование, диффузия, численные методы.

SUMMARY

Andrichuk N.D. Improvement of Heat Generated Installations Efficiency under Ecological Monitoring. - Manuscript.

Thesis for Degree of Doctor of Technical Science on 05.23.03 specialty – Ventilation, lighting and heat-gas-supply. – Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture of Ministry of Education and Science of Ukraine, Makeyevka, 2005.

Dissertation is dedicated to a problem of maintenance of economical and technological efficiency heat generated installations by ecological monitoring. The scientific problem is resolved by construction of special control systems, which completely provide high-performance and environmental safety operational mode installations.

Original designs of gas burners and automatic control system of a ratio fuel - air are patented and introduced in industry. It is shown on the basis of full-scale tests, that proposed technical and system solutions allows simultaneously to increase profitability heat generated installations and environment conditions.

The basic results have found application in industry and on objects of a municipal economy of Ukraine.

Keywords: heat generated installations, heat exchange, pollution, decomposition, method, simulation, diffusion, numerical methods.