

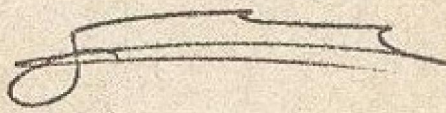
Автореф.

Б 20

ОДЕСЬКИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

ІМЕНІ М.В.ЛОМОНОSOBA

На правах рукопису

БАЛАСАНЯН ГЕНАДІЙ АЛЬБЕРТОВИЧ 

ВІБРОАКУСТИЧНИЙ КОНТРОЛЬ І УПРАВЛІННЯ ЦИКЛОННИМИ ПЕЧАМИ
У ВИРОБНИЦТВІ КОРМОВИХ ДОДАТКІВ ТА МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ

Спеціальність – 05.13.07 – автоматизація технологічних
процесів і виробництв (АПК)

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття вченого ступеню
кандидата технічних наук

Одеса – 1993

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі автоматизації теплоенергетичних процесів Одеського політехнічного інститута

Науковий керівник - кандидат технічних наук,
ст. наук. співробітник,
Ваганов Олександр Іванович

Офіційні опоненти: - доктор технічних наук, професор
Гогунський Віктор Дмитрович

- кандидат технічних наук, доцент
Шлеве Олександр Георгійович

Провідна організація - НВО "Харчопромавтоматика" (м. Одеса)

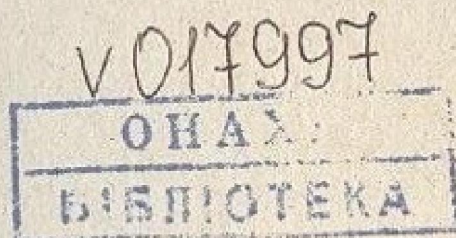
Захист відбудеться "25" березня 1994 р. у 10⁰⁰ годин
на засіданні спеціалізованої вченої ради К 068.35.02 при Оде-
ському технологічному інституті харчової промисловості ім.
вул. Свердлова, 112).

в бібліотеці Одеського
промисловості ім. М. В. Ло-

ОНАХТ 25.03.11
Віброакустичний конт



v017997



ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОБЛЕМИ: До прогресивних способів організації технологічних процесів відноситься застосування енерготехнологічних циклонно-вихревих апаратів (ЦВА), які за рахунок активного аеродинамічного режиму забезпечують високі технологічні показники. Такі апарати знайшли широке застосування у якості печей, предтопок, плавителів, сепараторів і вихревих сушилок у харчовій, хімічній, металургійній промисловості, енергетиці та ін.

У хімічній промисловості ЦВА використовуються при виробництві сірчаної кислоти, яка є однією із компонентів при одержанні кормових додатків і мінеральних добрив.

До задач автоматичного регулювання циклонних печей для спалювання сірки насамперед відносяться стабілізація витраток технологічних потоків сірки і повітря, концентрації діоксиду сірки на виході із печі, регулювання аеродинамічного і теплового режиму, повноти спалювання сірки у печі.

Внаслідок недосконалості традиційних АСР і відсутності контролю за витратком і якістю розпилювання сірки, як свідчить досвід промислової експлуатації циклонних печей, виникають порушення у роботі печі, які приводять до неповноти спалювання сірки, порушення аеродинамічної структури газового потоку, погіршення показників якості технологічного процесу і виникненню аварійних ситуацій.

Проблема організації безупинного контролю за витратком і якістю розпилювання рідких продуктів є актуальною і при вирішенні задач автоматизації процесів сушки харчових продуктів, що подаються у топочний прилад через центробіжні форсунок.

У зв'язку з цим розробка і впровадження ефективної АСР циклонної печі для спалювання рідкої сірки з використанням посереднього контролю стану центробіжних форсунок за віброакустичними параметрами, що забезпечує підвищення надійності і ефективності роботи апарату, є новою, актуальною науковою задачею і має важливе народногосподарське значення.

ЦІЛЬ РОБОТИ – розробка принципів функціонування і утворення технічних засобів ефективної АСР циклонної печі для спалювання сірки з використанням віброакустичного контролю, що забезпечує зниження втрат готового продукту, підвищення надійності і продуктивності апарату.

НАУКОВА НОВИЗНА:

– вперше запропоновано ідентифікувати стан центробіжних форсунок для спалювання сірки за посередніми віброакустичними парамет-

рами, що дозволяє використати одержану інформацію для контролю стану циклонної печі, а також для розробки способів автоматичного управління;

- розроблена математична модель статичного режиму циклонної печі для спалювання сірки, яка враховує сукупність усіх фізико-хімічних явищ циклонного процесу і дозволяє провести оцінку більшої частини неконтрольованих параметрів апарату, обрати канали регулювання з урахуванням забезпечення ефективної роботи циклонної печі;

- розроблені оригінальні технічні засоби для виміру і обробки віброакустичних параметрів центробіжних форсунок в умовах високо-температурного і агресивного середовища, які дозволяють реалізувати АСР;

- розроблена технічна реалізація ефективної АСР із використанням віброакустичних параметрів і оптимізації процесу спалювання сірки, яка забезпечує зниження втрат готового продукту, підвищення надійності і продуктивності апарату.

ВІРОГІДНІСТЬ І ОБҐРУНТОВАНІСТЬ НАУКОВИХ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ ґрунтується на використанні методології системного аналізу хімічної технології, принципів математичного моделювання і коректним застосуванням математичного апарату диференціального і інтегрального обчислювання, математичної статистики. Усі одержані теоретичні результати експериментально перевірені на фізичній моделі центробіжної форсунок і промислової циклонної печі.

ПРАКТИЧНА ЦІННІСТЬ. Розроблені технічні засоби (прилади для перетворення віброакустичного сигналу форсунок), які можуть бути використані для ідентифікації стану різноманітних типів розпилювачів.

Розроблений спосіб автоматичного управління циклонної печі для опалювання сірки з використанням віброакустичних параметрів і математичної моделі, яка може бути використана для управління циклонними печами в хімічній, харчовій промисловості і енергетиці.

Розроблена АСР циклонної печі з використанням віброакустичних параметрів і оптимізації процесу спалювання сірки, яка забезпечує підвищення надійності устаткування і зниження викидів сірки, запроваджена на Кінгіселському ВО "Фосфорит". Реальний економічний ефект складає 3 млн. 140 тис. крб. (в цінах 1992 року).

ДО ЗАХИСТУ ВІНОСЯТЬСЯ СЛІДУЮЧІ НАУКОВІ ПОЛОЖЕННЯ І РЕЗУЛЬТАТИ:

- нові методи контролю умов розпилення рідкої сірки центробіжними форсунками та їх технічна реалізація;
- методика моделювання процесу спалювання рідкої сірки у за-

крученому потоці;

- результати розрахунково-теоретичних і еспериментальних досліджень характеристик циклонних печей як об'єктів управління;

- спосіб управління циклонною піччю для спалювання сірки з використанням системи віброакустичного контролю форсунок.

АПРОБАЦІЯ РОБОТИ. Основні положення і окремі розділи дисертаційної роботи докладені і схвалені на:

- республіканських семінарах "Кібернетика і автоматичне управління" Наукової Ради АН України з проблеми "Кібернетика" (Одеса, 1991 р., 1992 р., 1993 р.);

- шостій Всесоюзній науково-технічній конференції по дослідженню вихревого ефекту і його застосуванню у техніці (Самара, 1991р.);

- республіканській науково-технічній конференції "Автоматизація технологічних процесів" (Алма-Ата, 1991 р.).

ПУБЛІКАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ. З теми дисертації опубліковано 3 статті, одержано 1 авторське свідоцтво на винахід, 1 позитивне рішення про видання авторського свідоцтва.

СТРУКТУРА І ОБСЯГ РОБОТИ. Дисертаційна робота складається з вступу, 4-х розділів з висновками, загальних висновків, списку літератури і додатка.

Основний зміст дисертації викладено на 116 сторінках машинописного тексту з 58 ілюстраціями, 2 таблицями, містить список літератури із 121 найменування.

ЗМІСТ РОБОТИ.

У першому розділі аналізується сучасний стан автоматичного контролю і регулювання процесу спалювання рідкої сірки у виробництві кормових додадків і мінеральних добрив.

Циклонні печі для спалювання сірки завдяки активним аеродинамічним обставинам (застосуванню закрученого руху газового потоку) створюють сприятливі умови для тепло і масообміну і горіння розпленої сірки.

У той же час циклонна піч для спалювання рідкої сірки є складним об'єктом з точки зору контролю і управління технологічними параметрами, що зумовлено важкими умовами експлуатації циклонних печей.

Тривала практика експлуатації таких апаратів свідчить про те, що відсутність контролю стану печі і ефективної системи управління процесом спалювання сірки приводить до порушень режиму роботи устаткування, які проявляються у зростанні "проскоку" неспаленої

сірки вище допустимого рівня, нестабільності навантаження печі і концентрації SO_2 в газах, що позначається на роботі всієї технологічної лінії і якості готової продукції.

Основними чинниками, що визначають швидку, надійну і ефективну роботу циклонної печі, є стан форсунок для розпилювання сірки і аеродинамічна структура закрученого двофазного потоку. Відсутність контролю за видатком сірки через форсунку і станом соплового наконечника форсунок приводить до порушення процесу розпилювання сірки і умов спалювання сірки в об'ємі печі.

Проведений критичний аналіз існуючих способів контролю видатку рідкої сірки і умов функціонування форсунок, що використовуються у різноманітних областях техніки, показав, що вони технічно не можуть застосовуватися для циклонних печей.

На підставі висновків гідродинамічної акустики про неминучу генерацію звука турбулентним потоком рідини доцільним є аналіз параметрів гідродинамічних шумів, які генеруються потоком рідкої сірки при її витіканні з форсунок, у зв'язку з чим для контролю стану центробіжної форсунок був обраний віброакустичний метод.

Аналіз існуючих способів регулювання печей сірчанокислотного виробництва, які запропоновані Київським політехнічним і Дніпропетровським хіміко-технологічним інститутами, показав, що спроби вирішити задачу управління циклонною піччю як звичайним вогнетехнічним об'єктом без урахування особливостей циклонно-вихревих апаратів, зумовлених особливим аеродинамічним режимом і наявністю двофазного потоку всередині апарату, приводять до утворення непрацездатних систем автоматизації.

Підтримка певного аеродинамічного режиму, що забезпечує максимальну міру спалювання сірки, є однією із умов нормальної експлуатації циклонної печі. Характерним параметром, що визначає аеродинамічний режим несучого газового потоку, є максимальне значення обертальної складаючої швидкості W_{fmax} , тому підзадачею управління аеродинамікою печі є мінімізація цільової функції:

$$U_1 = \left(\frac{W_{fmax}}{W_0} - 1 \right)^2, \quad (1)$$

де W_{fmax} і W_0 – поточне і задане значення максимуму обертальної швидкості.

Другою підзадачею управління є визначення заданого значення W_0 , що забезпечує максимальну міру спалювання сірки у печі (мінімальний "проскок" сірки $G_{пр}^{min}$), тобто необхідно мінімізувати цільову функцію другої підзадачі управління аеродинамікою печі:

$$U_2 = G_{\text{пр}}(X_1, X_2, \dots, X_n),$$

де X_1, X_2, \dots, X_n - чинники, що визначають повноту спалювання сірки.

Безпосереднє управління по цільовій функції U_2 вимагає застосування керуючої ЕОМ, крім того, параметри W_{fmax} і $G_{\text{пр}}$ безпосередньо виміряти не можна, тому виникає необхідність прогнозувати їх значення за допомогою адекватної математичної моделі.

Другий розділ присвячений розробці системи віброакустичного контролю центробіжних форсунок для спалювання рідкої сірки.

Принцип дії системи віброакустичного контролю центробіжних форсунок для спалювання сірки заснований на тому, що при витіканні рідини з форсунки генерується характерний гідродинамічний шум, у спектрі якого можна ідентифікувати джерела віброакустичних коливань, зв'язаних з режимом роботи і порушеннями в форсунці.

Серед інформаційних сигналів, за допомогою яких будується система контролю, можна виділити характерний вихревий тон закрученого потоку (прецесія вихідного вихра), витікаючого з форсунки, частота коливань якого пов'язана з витратком рідини через форсунку.

Іншим характерним джерелом віброакустичних коливань форсунки є власні коливання вихідного сопла, збуджувані потоком рідини при проходженні її через сопловий наконечник. Такі порушення в форсунці як шлакування або вигорання вихідного отвіру сопла виявляються на характері коливань, що відбуваються на власних частотах соплового наконечника.

Математична модель інформаційних джерел шуму центробіжної форсунки заснована на теоретичній залежності числа Струхалю від інтенсивності крутки потоку, одержаної Ю.А.Книшем і А.Ф.Уривським для вихревих генераторів звука.

Для центробіжних форсунок одержана аналітична залежність, яка однозначно визначає частоту прецесії вихра вихідного потоку f в залежності від витратку рідини G і геометричних параметрів форсунки:

$$f = \frac{4 \cdot (0.23 + 0.45 \cdot A) \cdot G \cdot \sqrt{\frac{1}{\epsilon^2} + A^2}}{\kappa \cdot d_c^3 \cdot \rho_c}, \quad (2)$$

де A - інтенсивність крутки потоку; d_c - діаметр сопла форсунки; ρ_c - густина рідини; ϵ - коефіцієнт живого перетину сопла.

Частота коливань другого інформаційного джерела - соплового наконечника форсунки однозначно визначається властивостями матеріалу наконечника (E, ρ) і його геометричними параметрами (D, d_n):

$$f = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \cdot \frac{1}{4 \cdot (D_H - d_c)} \quad (3)$$

де E - модуль нормальної пружності; ρ - густина; D_H - діаметр наконечника.

Експериментальна перевірка одержаних теоретичних результатів проведена на фізичній моделі форсунки і промисловій установці (мал. 2, мал. 3).

Умови проведення експерименту на фізичній моделі дозволили визначити віброакустичні f і гідродинамічні G , d_c характеристики форсунки при різноманітних режимних (видаток води $G_B = 0.2 \cdot 10^{-3} - 0.4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$) і конструктивних ($d_c = 6-10 \text{ мм}$) параметрах.

Результати досліджень гідродинамічних характеристик на фізичній моделі форсунки підтверджують адекватність розробленої математичної моделі, а також можливість безупинної оцінки стану форсунки по частоті коливань прецесірованого закрученого потоку і частоті власних коливань соплового наконечника.

Експериментальні дослідження віброакустичних характеристик форсунок на промислових циклонних печах підтвердили можливість організації безупинного контролю видатку сірки через форсунку і стану соплового наконечника в промислових умовах.

Для промислового використання запропонованого віброакустичного каналу ідентифікації стану форсунок для спалювання сірки і застосування його в системі регулювання розроблена система віброакустичного контролю стану форсунки, яка включає в себе п'єзоакселерометр, встановлений на зовнішній поверхні фланца форсунки, підсилювач зі смуглевими фільтрами (500-5000 Гц і 20-25 кГц) для обмеження спектру вхідного сигналу і збільшення відношення "сигнал-шум", пороговий прилад (компаратор) для виділення моментів пересічення віброакустичним сигналом нульового рівня і його перетворення в послідовність прямокутних імпульсів, перетворювач "частота-напруга" і перетворювач "напруга-струм".

Система забезпечує лінійну характеристику "частота корисного сигналу-струм" і має уніфікований струмовий вихід 0-5 мА.

Для реалізації ефективної АСР циклонної печі із-за відсутності можливості контролю багатьох вихідних параметрів запропоновано використання для контролю і управління об'єктом математичної моделі, яка враховує сукупність усіх фізико-хімічних явищ циклонного процесу і дозволяє зробити оцінку неконтрольованих проміжних і вихідних параметрів апарату.

В третьому розділі розроблена математична модель процесу спалювання рідкої сірки у циклонних печах для цілей контролю і управління.

Для розробки математичної моделі спалювання рідкої сірки у циклонних печах використаний принцип побудови моделі системи із набору елементарних функціональних операторів, на основі якого визначена блокова структура моделі і сформульована система основних допущень.

Аналіз внутрішньої структури системи показав, що математична модель повинна включати в себе наступні функціональні оператори: аеродинаміки двохфазного потоку, режиму роботи форсунок, теплового режиму печі, горіння і догорання сірки.

Для циклонних печей, що досліджуються в даній роботі, математичний опис руху неізотермічного двохфазного закрученого потоку здійснюється узагальненими рівняннями для розрахунку розподілу обертальних і осевих швидкостей:

$$W_f = W_{fmax} \cdot \psi_f(R, Z, R_{fmax}, \bar{K}) \quad ; \quad (4)$$

$$W_z = \begin{cases} W_{fmax} \cdot \psi_z'(R, Z, R_{fmax}, \bar{K}, K_H) \\ W_{вх} \cdot \psi_z''(R, Z, R_{fmax}, \bar{K}, K_H) \end{cases} ; \quad (5)$$

$$W_r = 0 \quad , \quad (6)$$

де ψ_f , ψ_z' , ψ_z'' - безрозмірні функції розподілу, \bar{K} - вектор конструктивних параметрів, K_H - коефіцієнт неізотермічності.

При потраплянні краплі сірки у циклонну піч вона підхоплюється газовим потоком і рухається за складною обертально-поступальною траєкторією, одночасно відбувається випаровання і горіння краплі, яке можна описати системою рівнянь у циліндричних координатах:

$$\frac{\partial V_r}{\partial t} = \frac{V_f^2}{R} + \frac{3 \cdot C \cdot \rho_r \cdot U}{4 \cdot d_{кп} \cdot \rho_c} \cdot (W_r - V_r) \quad ; \quad (7)$$

$$\frac{\partial V_f}{\partial t} = -V_f \cdot \frac{V_r}{R} + \frac{3 \cdot C \cdot \rho_r \cdot U}{4 \cdot d_{кп} \cdot \rho_c} \cdot (W_f - V_f) \quad ; \quad (8)$$

$$\frac{\partial V_z}{\partial t} = \frac{3 \cdot C \cdot \rho_r \cdot U}{4 \cdot d_{кп} \cdot \rho_c} \cdot (W_z - V_z) \quad ; \quad (9)$$

$$\frac{\partial (d_{кп}^2)}{\partial t} = -K_r \quad . \quad (10)$$

де W_f , W_z , W_r , V_f , V_z , V_r - відповідні проекції швидкостей газу і краплі; R - радіус положення краплі; $d_{кп}$ - поточний діаметр краплі

U - відносна швидкість краплі; C - коефіцієнт аеродинамічного опору краплі; K_{Γ} - приведена константа горіння, що визначається із умов теплообміну між газом і краплею.

Середньомасовий і середньохарактеристичний діаметри крапель, які утворюються при розпилюванні сірки центробіжними форсунками, відповідно визначаються із виразів:

$$\frac{d}{d_c} = 47.8 \cdot A^{-0.6} \left[\frac{\mu_c^2}{\rho_c \cdot \sigma_c \cdot d_c} \right]^{-0.1} \left[\frac{W_e \cdot d_c}{v_c} \right]^{-0.7} ; \quad (11)$$

$$d_{срх} = 21.5 \cdot (K \cdot M)^{0.57} \cdot P^{-0.22} ,$$

де μ_c , v_c , σ_c , ρ_c - відповідно динамічна і кінематична глейкість, коефіцієнт поверхнього натягу і густина сірки; W_e - еквівалентна швидкість сірки на виході з сопла форсунки; M - масштаб форсунки; P - тиск сірки перед форсункою.

При моделюванні процесу горіння і сепарації неспаленої сірки на стінку циклонної печі враховувалась полідисперсність розпилюваної сірки. Функція щільності вагового розподілу крапель за діаметром описується виразом:

$$F(d_k) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi} \cdot \sigma \cdot (d_k - \epsilon)} \cdot \exp \left\{ -\frac{1}{2 \cdot \sigma^2} \left[\ln(d_k - \epsilon) - \mu \right]^2 \right\} , \quad (12)$$

де σ , μ , ϵ - параметри розподілу, що визначаються із співвідношення між нормованою нормально розподіленою випадковою величиною z і величиною d_k , розподіленої за логарифмічним нормальним законом.

Характеристика швидкості горіння K_{Γ} представляється як алгебраїчна сума швидкостей вибухового і дифузійного горіння:

$K_{\Gamma} = K_{\Gamma}^{\text{виб}} + K_{\Gamma}^{\text{диф}}$. При атмосферному тиску константа швидкості вибухового горіння рівняється $0.89 \text{ мм}^2/\text{с}$, а константа швидкості дифузійного горіння визначається із рівняння випарювання краплі:

$$\frac{\partial(d_{\text{кп}})}{\partial t} = - \frac{G_c \alpha_{\Gamma\text{к}}^{\Sigma} \cdot (T_{\Gamma} - T_{\text{к}})}{\rho_c \cdot (C_c \cdot (T_{\text{к}} - T_{\text{п}}) + q_{\text{вип}} + C_{\text{пс}} \cdot (T_{\Gamma} - T_{\text{к}}))} , \quad (13)$$

де $T_{\text{п}}$, $T_{\text{к}}$ - відповідно початкова температура і температура кипіння краплі сірки; $q_{\text{вип}}$, C_c - теплота випарювання і теплоємність сірки, $\alpha_{\Gamma\text{к}}^{\Sigma}$ - сумарний коефіцієнт тепловіддачі від газу до краплі; T_{Γ} - температура газів у печі, що визначається із рівняння теплового балансу:

$$G_{\Gamma} \cdot G_{\Gamma} \cdot \frac{\partial T_{\Gamma}}{\partial Z} = \frac{\partial G_{\text{сп}}}{\partial Z} \cdot (Q_{\text{р}}^{\text{н}} + C_c \cdot t_{\text{п}} + \frac{C_{\text{пов}} \cdot t_{\text{пов}} \cdot Q_{\text{к}}}{G_c}) - \alpha \cdot q_{\text{ст}} \cdot D_{\text{кес}} \quad (14)$$

де G_{Γ} - видаток газів; C_{Γ} , $C_{\text{пов}}$ - теплоємність газів і повітря;

$q_{ст}$ - питомий тепловий потік, що визначається із розрахунку теп-
лопередачі через багат шарову футеровану стінку печі.

При певних умовах (висока крутка потоку газів, грубий розпил і та інш.) крапля сірки не встигає випаруватися і згоріти в обсязі печі і сепарується на стінку. Частка сепарованої сірки визначається із заданим інтервалом по діаметру із розрахунку траєкторії і горіння полідисперсного факелу з визначенням параметрів сепарації кожної фракції крапель:

$$G_{сс} = G_c \cdot \left(\frac{d_{к}^{сеп}}{d_{к}} \right)^3 \cdot \int_{d_{к}^{поч}}^{d_{к}^{max}} F(d_{к}) d(d_{к}) \quad (15)$$

де $d_{к}^{max}$, $d_{к}^{поч}$, $d_{к}^{сеп}$ - відповідно максимальний діаметр краплі сірки; початковий діаметр краплі сірки, при якому починається сепарація; діаметр краплі сірки в момент сепарації, а міра спалювання сепарованої сірки рівняється:

$$X_{сп} = \frac{K_{O_2} \cdot (1 - \exp(K_{Г1} \cdot \tau \cdot (K_{O_2} - 2 \cdot K_{пс})))}{2 \cdot K_{пс} - K_{O_2} \cdot \exp(K_{Г1} \cdot \tau \cdot (K_{O_2} - 2 \cdot K_{пс}))} \quad (16)$$

де K_{O_2} , $K_{пс}$ - концентрація кисню і пари сірки в зоні сепарації; $K_{Г1}$ - константа швидкості горіння; τ - час перебування суміші в зоні горіння.

Величина максимальної відносної помилки прогнозу розробленої математичної моделі не перевищує 20 %, що допустимо для даного класу моделей і дозволяє використати одержані дані для утворення системи автоматичного управління такими об'єктами.

Четвертий розділ присвячений розробці з'ятоматичної системи управління процесом спалювання рідкої сірки в циклонній печі.

Синтез АСР циклонної печі для спалювання сірки проведений на підставі регулюючих впливів, обраних внаслідок ідентифікації на математичній моделі інформаційних джерел стану центробіжних форсунок і результатів цифрового моделювання на математичній моделі циклонної печі, а також аналізу одержаної експериментальної статичної характеристики об'єкту.

Для утворення АСР циклонної печі з використанням ЕОМ проведено дослідження її властивостей на математичній моделі, одержані статичні характеристики об'єкту, які дозволяють визначити вплив вхідних г'ятоків, а також основних збурюючих впливів, на вихідні і проміжні параметри циклонної печі.

Одержана експериментальна статична характеристика об'єкту, яка дозволяє зробити висновок, що визначальним чинником у роботі печі є

її аеродинамічний режим, який визначає повноту спалювання сірки у печі. Ця залежність має екстремальний характер: при значеннях W_{fmax} нижче 40 м/с здійснюється збільшення неповноти спалювання сірки, викликане зниженням крутки потоку і порушенням процесу сумішоутворення; при чималому збільшенні крутки ($W_{fmax} > 80$ м/с) "проскок" сірки також різко зростає, що викликане початком сепарації крапель сірки на стінки циклонної печі із-за збільшення центробіжних сил, діючих на краплю. У зв'язку з цим задача управління аеродинамічним режимом печі укладається в підтримці оптимального значення обертальної складової швидкості потоку, яка забезпечує мінімальний "проскок" сірки. Це оптимальне значення не є постійним і залежить від багатьох режимних параметрів, але визначальну роль грає стан форсунок для розпилювання сірки. Закон дрейфу екстремуму описаний за допомогою математичної моделі циклонної печі.

Для вибору ефективного каналу управління на математичній моделі проведений аналіз альтернативних керуючих впливів на повноту спалювання сірки в печі, який показав, що найбільш ефективним способом управління повнотою спалювання сірки є регулювання аеродинамічного режиму печі шляхом зміни площі вхідних сопел повітря. Управління аеродинамічним режимом шляхом зміни видатку повітря чи діаметру аеромеханічного пережиму недоцільно із-за зміни температурного режиму печі і структури несучого газового потоку.

Сформульовані основні вимоги і принципи управління об'єктом, які укладаються в забезпеченні безупинного контролю видатку сірки на кожну форсунку і стану вихідного сопла форсунки; визначенні за допомогою математичної моделі проміжних і вихідних параметрів, які характеризують роботу циклонної печі (температури в зоні горіння, складу газів, швидкості газів, повноти спалювання сірки); підтримці певного навантаження по сірці на кожну форсунку і заданого співвідношення сірки і повітря на піч; забезпеченні мінімального "проскоку" неспаленої сірки. Розроблена схема АСР процесу спалювання сірки, на яку одержано позитивне рішення про видання авторського свідоцтва. Схема реалізована на апаратурі ДСП і додатково створених технічних засобах (мал.4).

Система включає в себе первинні віброакустичні перетворювачі з приладом виділення і обробки віброакустичного сигналу, регулятори стабілізації видатку сірки на кожну форсунку, регулятор співвідношення "сірка-повітря", керуючу ЕОМ, на яку поступають сигнали відповідні видатку сірки на форсунку, діаметру сопла кожній форсунки, видатку повітря і площі вхідних сопел повітря. Сигнал від ке-

руючої ЕОМ поступає на регулятор різниці тиску, який змінює площу вхідних сопел повітря. Оцінка максимального значення обертальної складаючої швидкості потоку газів W_{imax} здійснюється по різниці тиску в циклонній печі після вхідних сопел повітря і перед пережимом, яка характеризує втрату енергії на утворення крутки потоку. Сигнал різниці тиску поступає на керуючу ЕОМ, т.е. таким чином здійснюється зворотний зв'язок між об'єктом і машиною.

Якщо під впливом будь-якого чинника відбувається збільшення діаметру вихідного сопла форсунок d_c , що є основним збурюючим впливом, який приводить до збільшення "проскоку" сірки, то АСР виробляє такий керуючий вплив на площу вхідних сопел повітря, який знижує "проскок" сірки до допустимого рівня (мал.5).

Для оцінки ефективності роботи розробленої системи регулювання були проведені її досвідно-промислові іспити. Результати іспитів показали, що використання АСР процесу спалювання сірки приводить до чималого зменшення коливань змісту неспаленої сірки в газах, а його величина не перевищує допустимого значення при різноманітних режимах роботи печі і вдвічі нижче, ніж при вимкнутій АСР (мал.6). Огляд внутрішніх поверхонь котла-утилізовника і газоходів при зупиненні печі показав чимале зменшення на них відкладень сірки.

Використання системи віброакустичного контролю форсунок дозволяє вчасно визначити їх закоксованість і постановку на пропарення, а також оцінити міру зношення сопла форсунок для її заміни.

ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

1. На основі аналізу гідродинамічних і віброакустичних характеристик центробіжних форсунок показано, що використання віброакустичних параметрів для ідентифікації стану форсунок дозволяє розробити ефективну систему контролю різноманітних типів порушень у форсуноці.

2. Розроблена математична модель інформативних джерел шуму центробіжної форсунок, яка дозволяє в широкому діапазоні конструктивних і режимних параметрів форсунок визначити діагностичні ознаки, зв'язані тільки з гідродинамічним станом форсунок.

3. Розроблена ефективна автоматична система контролю видатку сірки через форсунок по частоті прецесії вихідного вихря і діаметру вихідного сопла форсунок по частоті коливань соплового наконечника, яка перетворює віброакустичний сигнал у пропорційний уніфікований струмовий сигнал 0-5 мА для його подальшого використання в системі регулювання.

4. Розроблена математична модель статичного режиму циклонної

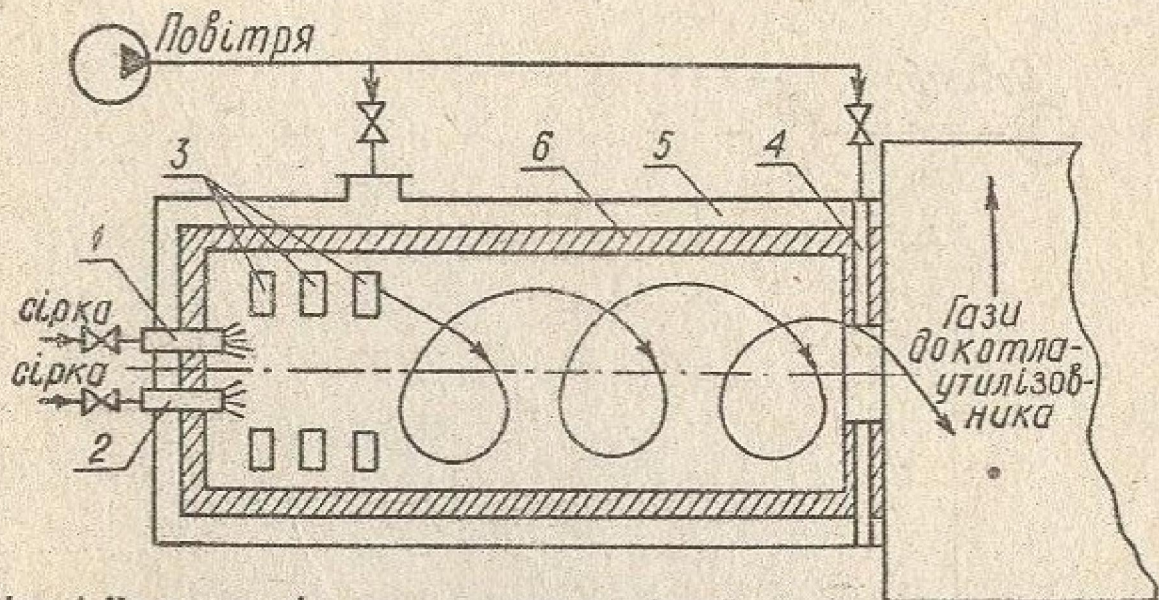
печі для спалювання сірки, яка враховує сукупність усіх фізико-хімічних явищ циклонного процесу і дозволяє проводити оцінку стану печі із вхідної інформації.

5. При дослідженні властивостей циклонної печі на математичній моделі встановлено, що в якості основного регулюючого впливу на повноту спалювання сірки повинна використовуватися величина крутки потоку газів у печі і, зокрема, значення максимуму обертальної складаючої швидкості газів W_{fmax} . Регулювання W_{fmax} необхідно здійснювати шляхом зміни площі вхідних сопел повітря.

6. На підставі проведених досліджень запропонований спосіб автоматичного регулювання циклонною піччю для спалювання сірки з використанням віброакустичного контролю стану центробіжних форсунок, на який одержано позитивне рішення про видання авторського свідоцтва. Розроблена і запроваджена на Кінгісепському ВО "Фосфорит" АСР циклонної печі для спалювання сірки, яка забезпечує зниження викидів сірки, підвищення продуктивності і надійності устаткування, скорочування витрат на проектування, з реальним економічним ефектом три млн. сто сорок тисяч карбованців (в цінах першої половини 1992 р.).

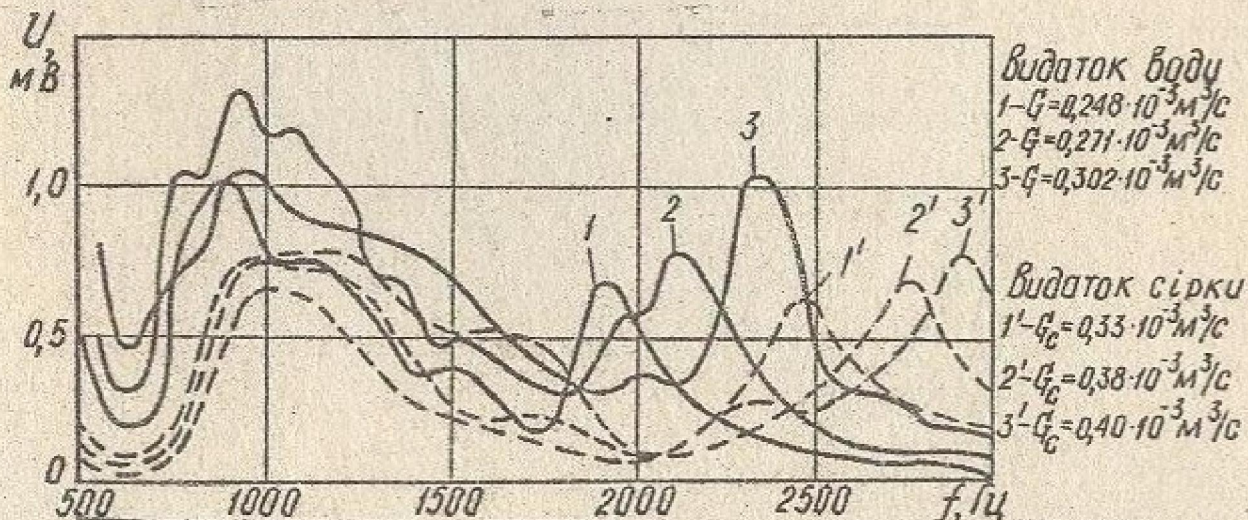
ПУБЛІКАЦІЇ. З теми дисертації опубліковані роботи:

1. Баласаян Г. А., Полоник В. С., Вадов В. Ю. Исследование АСР процесса горения с применением комбинированного корректирующего сигнала/ Одесский политехнический институт. - Одесса, 1987. - 13 с. - Рукопись деп. в УкрНИИТИ. - N 451-Ук88. - Деп. 12.02.88.
2. Баласаян Г. А., Ваганов А. И., Тодорцев Ю. К. Система виброакустической диагностики форсунок для камер сгорания на жидком топливе// Тез. докл. Респ. НТК "Матем. моделирование и вычислительный эксперимент для совершенствования энергетических и транспортных турбоустановок в процессе исследования, проектирования, диагностирования и безопасного функционирования. - Харьков, 1991. - С. 111.
3. Ваганов А. И., Бочко В. С., Баласаян Г. А., Бошняков Е. А. Диагностика химических реакторов на основе анализа гидродинамических шумов// Химическая промышленность. - 1991. - N 11. - С. 48-50.
4. А. с. SU 1741880 A1, МКИБ, В 01 J 8/04, G 05 D 27/00. Способ контроля состояния реактора с неподвижным слоем катализатора/ А. И. Ваганов, А. П. Дорохов, Ю. К. Тодорцев, С. П. Голубов, Г. А. Баласаян//. - N 4788203/26. - 26.12.89. - Опубл. В. И. - 1992. - N 23.
5. Заявка N 4934752/26(039479)// Способ автоматического управления топкой для сжигания жидкой серы/ А. И. Ваганов, Ю. К. Тодорцев, Г. А. Баласаян, Б. П. Корчагин, А. Д. Яковлев. - Решение комитета о выдаче авт. свидетельства от 09.06.92. - заяв. 8.05.91.



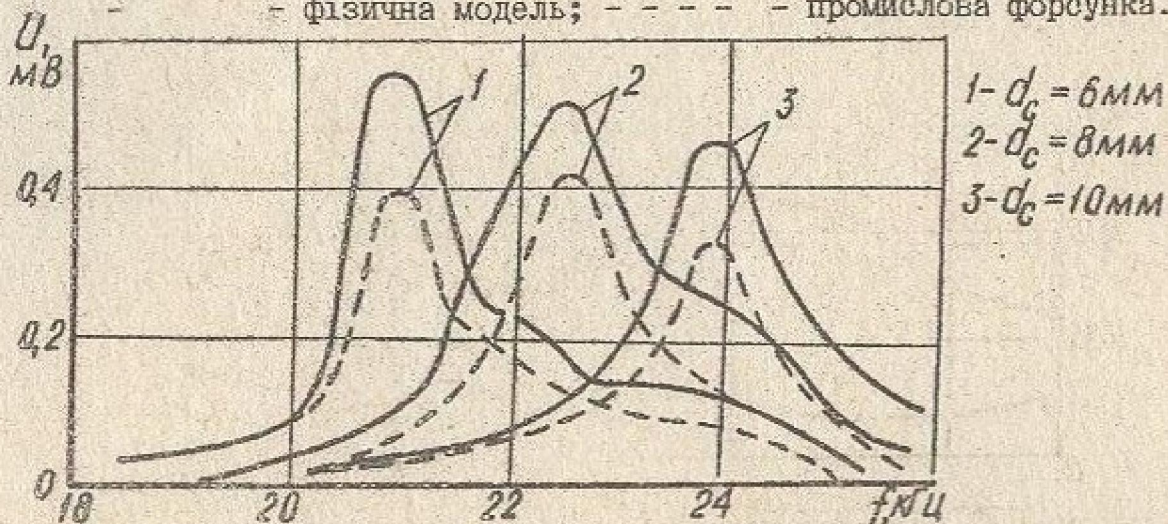
Мал.1. Циклонна піч для спалювання рідкої сірки.

1,2 - форсунки; 3 - фурми; 4-аеромеханічний пережим; 5 - повітряний кесон; 6 - футеровка



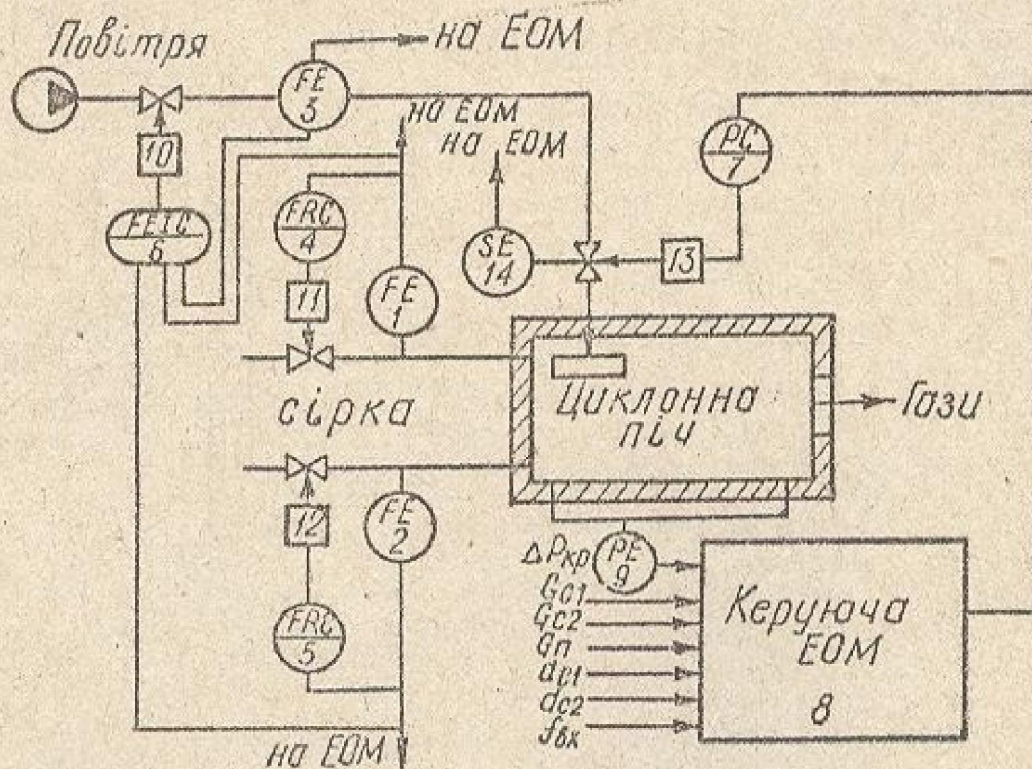
Мал.2. Спектри віброакустичних коливань центробіжної форсунки при різних значеннях витрати рідини.

- фізична модель; - - - - - промислова форсунка.

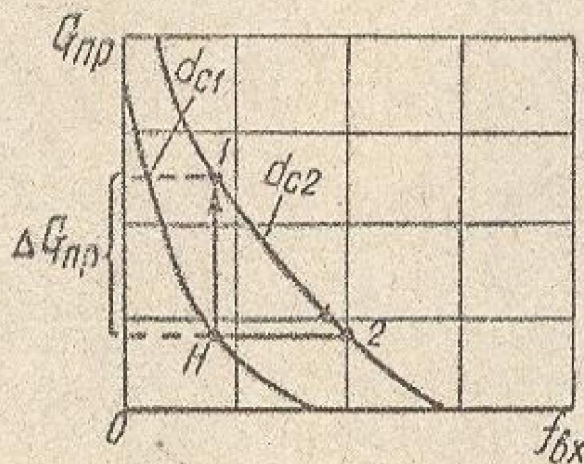


Мал.3. Спектри віброакустичних коливань центробіжної форсунки при різних значеннях діаметру сошла.

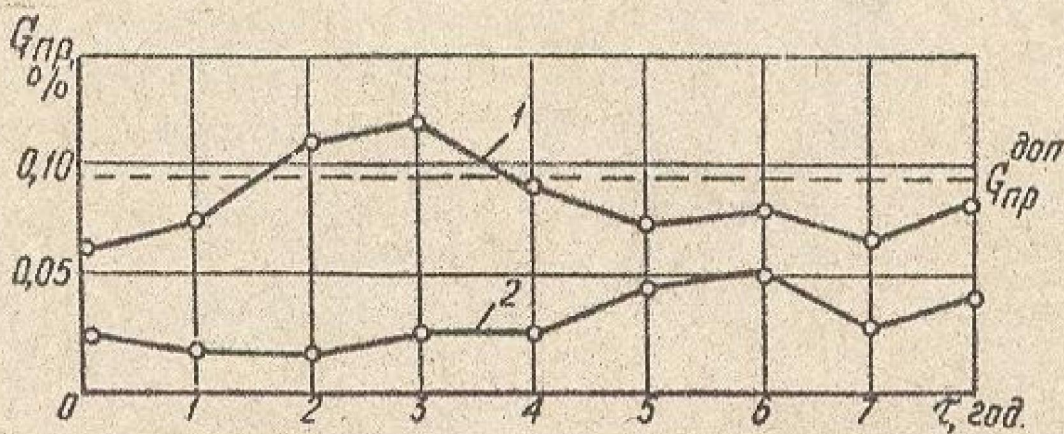
----- фізична модель; - - - - - промислова форсунка.



Мал.4. Функціональна схема АСР процесу спалювання сірки.



Мал.5. Робота АСР оптимізації процесу спалювання сірки.



Мал.6. Значення неповноти спалювання сірки.

- 1 - при роботі печі без АСР процесу спалювання сірки;
- 2 - при роботі печі з АСР процесу спалювання сірки.