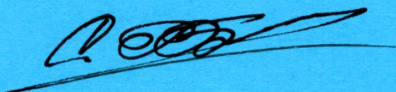


681.518 (043)
с 45

**ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ**

СКРИП'ЮК РОСТИСЛАВ БОГДАНОВИЧ



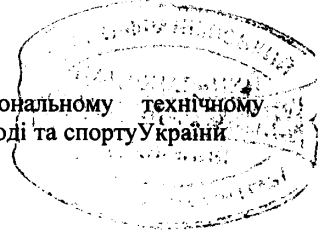
УДК 681.518.621.926.7⁺ (043)
с 45

**КОНТРОЛЬ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВЕРТИКАЛЬНИХ ВАЛКОВИХ
МЛИНІВ**

Спеціальність 05.11.13 – Прилади і методи контролю
та визначення складу речовин

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дисертацією є рукопис
Робота виконана у Івано-Франківському національному технічному
університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України



Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Заміховський Леонід Михайлович,
Івано-Франківський національний технічний університет
нафти і газу,
завідувач кафедри комп'ютерних технологій в системах
управління та автоматики

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Кучерук Володимир Юрійович,
Вінницький національний технічний університет,
завідувач кафедри метрології та промислової
автоматики

доктор технічних наук, професор
Копей Богдан Володимирович,
Івано-Франківський національний технічний університет
нафти і газу,
завідувач кафедри морських нафтогазових споруд

Захист відбудеться 10 червня 2011р. о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.03 в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу за адресою: 76019, м.Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (76019, м. Івано-Франківськ, вул.Карпатська, 15)

Автореферат розісланий «7» травня 2011 року

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, overlapping loops and lines, representing the name M.M. Dranchuk.

Дранчук М.М.



АГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Наявність незначних покладів природного газу, які не забезпечують промисловість України енергоносіями і ставлять її в залежність від Росії, що його постачає, вимагає переходу на енергозберігаючі технології, зокрема використання більш дешевих енергоносіїв, до яких відноситься вугілля низьких сортів. Пилевугільна суміш, яку отримують шляхом переробки вугілля низьких сортів, є заміником природного газу і використовується на найбільш енергоємних підприємствах: в котельних установках енергоблоків теплових електростанцій, на металургійних комбінатах шляхом вдування пилевугільної суміші в доменні печі, в цементній промисловості в технологічному процесі випалювання клінкеру тощо. Слід відмітити, що цементна промисловість України є однією з найбільш енерговитратних, оскільки частка електроенергії і палива (природного газу) складає 65% собівартості цементу. Для приготування пилевугільної суміші використовують вертикальні валкові млини (ВВМ).

Одним з перших в Україні перехід на використання пилевугільної суміші замість природного газу здійснило ВАТ «Івано-Франківськцемент». В технологічному процесі її приготування використовується вертикальний валковий млин типу MPS 180BK фірми PFEIFFER-AG.

Від технічного стану робочих органів ВВМ (помольних валків - ПВ та бігової доріжки -БД, помольної чаші -ПЧ) залежить як надійність його роботи, так і ефективність процесу помолу вугілля та якість вихідного продукту. На сьогоднішній день відсутні методи і технічні засоби, які дозволяють отримувати оперативну інформацію про фактичний технічний стан робочих органів ВВМ і проводити наплавку їх зношених поверхонь за потребою, а існуючий метод вимірювання величини зношення поверхонь робочих органів вимагає технологічної зупинки ВВМ і є недосконалим.

Тому розробка методів і засобів оперативного контролю технічного стану робочих органів ВВМ в процесі його експлуатації є актуальною науково-технічною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Основний зміст роботи складають результати наукових розробок та експериментальних досліджень, які проводились в 2006-2010-му роках на кафедрі комп'ютерних технологій в системах управління та автоматики Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. Тематика роботи базується на результатах госпдоговірної науково-дослідної роботи № 13-09 «Розроблення методики діагностування технічного стану вертикального валкового млина PFEIFFER-AG – MPS 180 BK», головним виконавцем якої був здобувач. Номер державної реєстрації в УкрНДІНТІ №0109U008155.

Мета досліджень: розроблення методів і засобів оперативного контролю технічного стану робочих органів ВВМ, як інструменту для забезпечення надійності їх роботи, підвищення ефективності процесу помолу вугілля та якості вихідного продукту - пилевугільної суміші.

Задачі досліджень:

- проаналізувати конструктивні особливості робочих органів ВВМ як

an 2177 - an 2178

як об'єкта контролю їх технічного стану в процесі експлуатації;

- розробити теоретичні засади методу контролю технічного стану робочих органів ВВМ в процесі його експлуатації;
- провести комплекс цілеспрямованих експериментальних досліджень на діючому ВВМ для виявлення діагностичних ознак (ДО) його технічного стану та розробити для цього їх методичне, технічне та програмне забезпечення;
- розробити алгоритми та методи контролю технічного стану робочих органів млина в процесі його експлуатації;
- розробити технічні та програмні засоби для реалізації методу контролю технічного стану робочих органів ВВМ;
- провести промислову апробацію і впровадження розроблених методів і засобів контролю технічного стану робочих органів ВВМ на ВАТ «Івано-Франківськцемент».

Об'єкт досліджень – процес зношування робочих органів ВВМ - ПВ та БД помольної чаші, викликаний розвитком дефектів, що призводить до зниження ефективності помолу вугілля та якості вихідного продукту.

Предмет досліджень – методи і засоби контролю технічного стану робочих органів ВВМ.

Методи дослідження. При проведенні теоретико-експериментальних досліджень використовувалися: теоретичні положення аналітичної геометрії, методи математичного аналізу, диференціальні рівняння; методи теорії ймовірності і математичної статистики; методи ідентифікації об'єктів; методи моделювання та обробки сигналів, методи спектрального та кореляційного аналізу, а також основні положення технічної діагностики. При розробці технічного забезпечення використовувались методи системо- і схемотехніки.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Вперше:

- розроблена узагальнена модель ВВМ, яка дозволяє проаналізувати фактори (параметри і показники), що обумовлюють як технічний стан його робочих органів, так і якість вихідного продукту – пилевугільної суміші та вибрати серед них найбільш інформативні, що використані як ДО технічного стану робочих органів ВВМ.

- проведені аналітичні дослідження процесу взаємодії кусків вугілля різної форми, розмірів і місця розташування на біговій доріжці помольної чаші з помольними валками в процесі їх руйнування, які покладені в основу методу контролю технічного стану ПВ та БД при експлуатації ВВМ .

- на основі запропонованих теоретичних положень взаємодії кусків вугілля різної форми з робочими органами ВВМ в процесі їх руйнування, розроблено метод контролю технічного стану останніх за вібраційними характеристиками ВВМ, використання якого дозволяє отримати оперативну інформацію про величину зношування робочих органів ВВМ в процесі його експлуатації.

- синтезовано структуру мікропроцесорної системи діагностування робочих органів ВВМ, використання якої дозволяє автоматизувати процес контролю їх технічного стану розробленим методом (за вібраційними характеристиками ВВВ).

2. Дістали подальший розвиток методи параметричної і непараметричної ідентифікації млина за перехідною характеристикою (ПХ), яка, на відміну від традиційної, є усередненою за двома каналами («напруга на вході електроприводу млина-частота обертання його ротора» та «напруга на вході електроприводу млина-частота обертання привідного вала помольної чаші»), що дозволило визначити ДО технічного стану робочих органів ВВМ, які були покладені в основу запропонованих методів контролю їх технічного стану.

Практичне значення одержаних результатів полягає в розробці:

- вимірювальної системи для зняття ПХ ВВМ на основі енкодера фірми Autonics, контролера CPU 313C-2DP фірми Siemens та програми обробки даних, написаної в середовищі Simatic Step 7, використання якої дозволяє отримати ПХ ВВМ, що використовуються для розрахунку ДО технічного стану його робочих органів;

- алгоритму контролю технічного стану робочих органів ВВМ за його вібраційними характеристиками, що дозволяє зупинити ВВМ і проводити наплавку поверхонь ПВ та БД, виходячи з фактичного технічного стану останніх;

- алгоритмів контролю технічного стану робочих органів млина за його ПХ, що реалізуються пакетом System Identification Toolbox середовища Matlab і дозволяють підвищити точність оцінки їх стану за вібраційними характеристиками ВВМ;

- мікроконтролерної системи діагностування робочих органів ВВМ на базі мікроконтролера ATmega8515 (за допомогою інтерфейса RS-232C система під'єднується до зовнішнього промислового контролера управління ВВМ типу Simatic S7-400 фірми Siemens), використання якої в комплексі з розробленим програмним забезпеченням дозволяє отримати оперативну і вірогідну інформацію про технічний стан робочих органів ВВМ в реальному часі та на її основі корегувати режим його роботи.

Розроблені методи та мікроконтролерна система діагностування технічного стану ВВМ пройшли промислову апробацію та впроваджені з 2009 року на ВАТ «Івано-Франківськцемент». Результати теоретичних і експериментальних досліджень використовуються в навчальному процесі – в робочих програмах дисциплін "Основи теорії надійності і технічної діагностики систем", "Методи і засоби діагностування об'єктів нафтогазового комплексу", "Проектування систем діагностування", які читаються для студентів спеціальності 7.091401 – "Системи управління і автоматики".

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно [13,14,15,16,17,18].

В роботах, опублікованих у співавторстві, запропонована методика та розроблені технічні засоби для зняття ПХ ВВМ [1]; проведені дослідження ДО стану ВВМ за його ПХ [3] та уточненою ПХ [2]; обґрунтована можливість розробки методу контролю технічного стану ВВМ на основі використання характеристик його вібраційного стану [4]; проведено моделювання процесу падіння куска вугілля зі шнекового дозатора в помольну чашу ВВМ [5]; запропонована структура мікроконтролерної системи діагностування технічного стану робочих органів ВВМ [6]; запропоновано використання методу непараметричної ідентифікації для діагностування технічного стану робочих

органів ВВМ [7]; проведені аналітичні дослідження взаємодії куска вугілля різної форми та розмірів з поверхнею БД і ПВ в процесі їх руйнування для двох випадків розташування куска вугілля на БД [8]; методики визначення інформаційних показників процесу помолу вугілля [12] та масового зносу робочих органів ВВМ [9]; досліджені статистичні показники, які характеризують тонкість та якість помолу вугілля [10,11].

Апробація результатів досліджень. Результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на XXIV (I) і XXVI(II) Міжнародній міжвузівській школі-семінарі «Методи і засоби діагностики в техніці і соціумі (МіЗДТС-2007)» (м. Івано-Франківськ, 2007, 2009 роки.); XXV міжнародній міжвузівській школі-семінарі "Методи і засоби технічної діагностики" (м. Йошкар-Ола, Росія, 2008 р.); 4-й міжнародній молодіжній науково-технічній конференції "Сучасні проблеми радіотехніки і телекомунікацій РТ-2008" (м. Севастополь, 2008 р.); V Міжнародній науково-технічній конференції. «Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтопромислового обладнання» (м.Івано-Франківськ,2008р); наукових семінарах кафедри комп'ютерних технологій в системах управління і автоматики (2006 - 2010 рр.).

Публікації. За результатами досліджень, які викладені в дисертації, опубліковано 18 робіт, з яких 11- у виданнях, включених до фахових видань ВАК України, а 6 робіт є одноосібними.

Структура дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Об'єм дисертації – 226 сторінок, в т.ч. 8 додатків на 42 сторінках. Дисертація містить 98 рисунків, 17 таблиць та посилань до 124 літературних джерел на 12сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність проблеми, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, визначено мету і завдання дослідження, сформульована наукова новизна та практичне значення отриманих результатів.

У першому розділі проведений аналіз конструктивних особливостей робочих органів ВВМ як об'єкта контролю їх технічного стану, який показав, що конструкція ВВМ є неконтролепридатною. Останнє не дозволяє встановлювати давачі і засоби контролю технічного стану ПВ та БД ВВМ, оскільки їх контроль в процесі експлуатації не передбачений. Сьогодні контроль технічного стану передбачає лише процедуру зупинки ВВМ і проведення вимірювань величини зношування поверхонь ПВ та БД прямим методом за допомогою шаблонів. В той же час значне зношування ПВ та БД в процесі експлуатації призводить як до зниження ефективності процесу помолу вугілля так і якості вихідного продукту - пилевугільної суміші, яка характеризується тониною помолу.

На процес зношування ПВ та БД, як показав проведений аналіз, впливають навантаженість останніх, втома, знос, відмови, що обумовлені конструкторсько-технологічними причинами, а також динамічні процеси (вібрація). Вібрація, яка виникає в процесі експлуатації ВВМ, призводить до зношування робочих органів

і, як наслідок, до зміни статичних навантажень на них; зміна останніх викликає подальше збільшення рівня вібрації.

Аналіз відомих методів контролю і діагностування технічного стану млинів різних моделей, стосовно використання їх для ВВМ, показав відсутність такої можливості через конструктивні особливості ВВМ. Останнє вимагає розробки методів оперативного контролю технічного стану робочих органів ВВМ в процесі їх експлуатації. Існує декілька напрямків вирішення вказаної задачі. Одним з них є використання методів параметричної діагностики, оскільки за зміною окремих параметрів, що характеризують процес експлуатації ВВМ, як показав проведений аналіз, опосередковано можна оцінити стан його робочих органів. Інший напрямок базується на використанні методів віброакустичної діагностики, так як ВВМ - це складна динамічна система робочі органи якої в процесі експлуатації є джерелом вібрації. Наступним напрямком, виходячи із конструктивних особливостей ВВМ та його неконтролепридатності, є використання методів ідентифікації об'єктів за ПХ ВВМ.

На підставі проведеного аналізу сучасного стану проблеми сформульовано мету і завдання дисертаційної роботи.

У другому розділі створена узагальнена діагностична модель ВВМ і

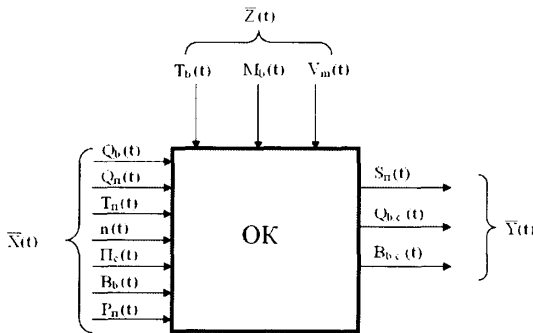


Рис.1. Структурна схема об'єкту контролю технічного стану робочих органів ВВМ

визначені фактори (параметри і показники), що зумовлюють ефективність процесу помолу вугілля (рис.1).

На рис.1 прийняті такі позначення: $\bar{X}(t)$ - вектор входних параметрів, що характеризують процес помолу (об'єм сирого вугілля Q_b ; об'єм сушильних газів (гарячого повітря) Q_n , температура гарячого повітря T_n , частота обертання ПЧ n , вологість сирого вугілля V_b , потужність приводу ПЧ P_n):

$$\bar{X}(t) = [Q_b(t), Q_n(t), T_n(t), n(t), n_c(t), V_b(t), P_n(t)]^T; \quad (1)$$

$\bar{Y}(t)$ - вектор вихідних параметрів, що характеризують якість вихідного продукту (S_n - тонина помолу, об'єм отриманого продукту $Q_{b.c.}$, та її вологість $V_{b.c.}$):

$$\bar{Y}(t) = [S_n(t), Q_{b.c.}(t), V_{b.c.}(t)]^T; \quad (2)$$

$\bar{Z}(t)$ - вектор збурюючих параметрів (температура сирого вугілля T_b , фізико-механічні властивості сирого вугілля M_b , вібрація ВВМ V_m , технічний стан ПВ C_m):

$$\bar{Z}(t) = [T_b(t), M_b(t), V_m(t), C_m(t)]^T. \quad (3)$$

Проведено аналіз факторів (рис.1) з метою вибору найбільш інформативних, які можуть бути використані за ДО технічного стану ПВ та БД ВВМ.

Проведені аналітичні дослідження взаємодії куска вугілля різної форми і розмірів з поверхнею БД і ПВ в процесі його руйнування для різних випадків

значеннях швидкості її обертання. Результати проведеного моделювання з використанням отриманих залежностей показали, що при вибраних комбінаціях розмірів куска вугілля та величини зношення БД при яких інтенсивність питомого тиску на ПВ перевищує 0,25 МПа, буде спостерігатися явище зношування БД помольної чаші і, відповідно, ПВ. В іншому випадку явища зношування робочих органів ВВМ буде відсутнє.

Виходячи з того, ПВ контактує з БД лише по заокруглених частинах, отримали рівняння дуги заглибленої частини БД, яке описується рівнянням кола в системі координат ХОУ (рис.2):

$$(x - x_{ov})^2 + (y + y_{ov})^2 = r_{zv}^2, \quad (9)$$

де $x_{ov} \approx 635 \text{ мм}$, $y_{ov} \approx -30 \text{ мм}$ - координати центра кола; $r_{zv} \approx 420 \text{ мм}$ - радіус заокругленої частини БД.

Рівняння контактної частини ПВ описується таким рівнянням кола в системі координат Х,АУ, $X_1AУ_1$:

$$x_1^2 + (y_1 - AO_k)^2 = r_{zv}^2, \quad (10)$$

де $AO_k = 380 \text{ мм}$ - ордината положення центра заокруглення валка, $r_{zv} = 226 \text{ мм}$ - радіус заокруглення валка.

Оскільки система координат $X_1AУ_1$, повернута на кут γ та відстоїть на відстані $AO \approx 585 \text{ мм}$, перетворенням систем координат та спільним розв'язком знайдемо координати точок x_k та y_k з рівнянь:

$$\begin{cases} y_k = y_{ov} \pm \sqrt{r_{zv}^2 - (x_k - x_{ov})^2}; \\ \left[\begin{cases} x_k \cos \gamma + \\ + \left(y_{ov} \pm \sqrt{r_{zv}^2 - (x_k - x_{ov})^2} \right)^2 \sin \gamma + AO \end{cases} \right]^2 + \left[\begin{cases} \left(y_{ov} \pm \sqrt{r_{zv}^2 - (x_k - x_{ov})^2} \right) \cos \gamma + \\ + x_k \sin \gamma - AO_k \end{cases} \right]^2 = r_{zv}^2 \end{cases} \quad (11)$$

Теоретично знайдена точка контакту практично з-за наявності притискування валка гідроциліндром до чаші перетворюється в площадку, по якій відбувається проковзування внаслідок складних явищ їх взаємодії.

На основі розроблених розрахункових схем взаємодії куска вугілля з ПВ і БД ПЧ визначені умови його руйнування, потрапляння у простір між ПВ і БД та отримано рівняння для розрахунку максимального питомого тиску. Крім того, проведені аналітичні дослідження взаємного руху ПВ і БД, дозволили встановити умови працездатності ВВМ при наявності трьох видів проковзування ПВ – пружнього, буксування та геометричного і пояснити такі явища, як заклинювання ПВ та биття ПВ об БД, що призводить до зростання рівня вібрації помольної чаші.

У третьому розділі досліджуються інформаційні фактори (параметри і показники) процесу помолу вугілля та розробляється методичне, програмне і технічне забезпечення експериментальних досліджень.

Методика дослідження інформаційних факторів полягала у визначенні закону розподілу досліджуваного фактора з використанням тесту Колмогорова-Смірнова та побудові його авторореляційної функції з проведенням подальшого її аналізу. Проведений аналіз інформаційних факторів показав, що вони є

випадковими величинами з нормальним законом розподілу і їм відповідають теоретичні розподіли, які достатньо добре характеризуються першим та другим початковим та центральними моментами.

Проведений факторний аналіз показав, що найбільш суттєвим фактором впливу на технічний стан ВВМ є його вібрація, оскільки її кореляція з параметрами $P_n(t)$, $S_n(t)$, $T_P(t)$, $N_C(t)$, $Q_{VS}(t)$, $V_{VS}(t)$ є високою (0.803 – 0.905), що дозволило уточнити діагностичну модель ВВМ і вибрати її за діагностичну ознаку стану ВВМ.

З метою вирішення поставлених в роботі задач і підтвердження отриманих попередніх результатів досліджень була розроблена методика, що передбачає п'ять етапів проведення досліджень. Два перші з них є підготовчими: 1-ий передбачав збір статистичних даних про параметри експлуатації, які були отримані з існуючої бази даних системи управління ВВМ на ВАТ «Івано-Франківськцемент», а також дані про параметри і показники вугілля, отримані за результатами його досліджень в лабораторних умовах за існуючими методиками; 2-ий етап передбачав визначення форми, розмірів і кількості кусків вугілля у заданому об'ємі. Результати досліджень двох підготовчих етапів використовувалися для підтвердження результатів аналітичних досліджень процесів руйнування вугілля в ВВМ та зміні його технічного стану, а також дослідженні статистичних показників впливових факторів.

Інші три етапи передбачали проведення вимірювання вібрації у вибраних контрольних точках ВВМ, зняття його ПХ та вимірювання величини зношування поверхонь робочих органів, результати яких послугували основою розробки методів контролю технічного стану робочих органів ВВМ. Для виконання цих досліджень було розроблено їх технічне і програмне забезпечення. Так, для вимірювання параметрів вібрації використовували розроблену систему на базі вібродавача типу AP-21 з магнітною системою кріплення та диференційного підсилювача на базі операційного підсилювача AD745 фірми Analog Devices. Вихід підсилювача навантажений на АЦП звукової карти комп'ютера, який виконує роль пристрою зберігання, обробки та представлення записаних даних.

Для зняття ПХ ВВМ, виходячи з його конструктивних особливостей, було розроблено вимірювальну систему (рис.3).

Перший варіант системи з використанням відеокамери виявився невдалим, оскільки мав значну похибку отриманих даних для побудови ПХ (до 30%).

Розроблена вимірювальна система складається з наступних елементів (рис. 3а): енкодера фірми Autonics типу E40S8-800-3-T-24 з дискретизацією у 800 імпульсів (точок) на оберт, який встановлюється на нерухому основу, суміжну з видимою частиною ПЧ ВВМ; контролера CPU 313C-2DP фірми Siemens та програми обробки даних. Сигнал з енкодера потрапляє на швидкий лічильник, вмонтований в контролер, який сумує всі отримані імпульси, а програма, яка написана в середовищі Simatic Step 7, з періодичністю 20 мсек зчитує дані з лічильника та формує базу даних за якими будується ПХ. З метою врахування впливу редуктора на ПХ на вал електроприводу встановлювали додатковий енкодер. Блок-схема алгоритму програми обробки даних з енкодера (рис.3 б).

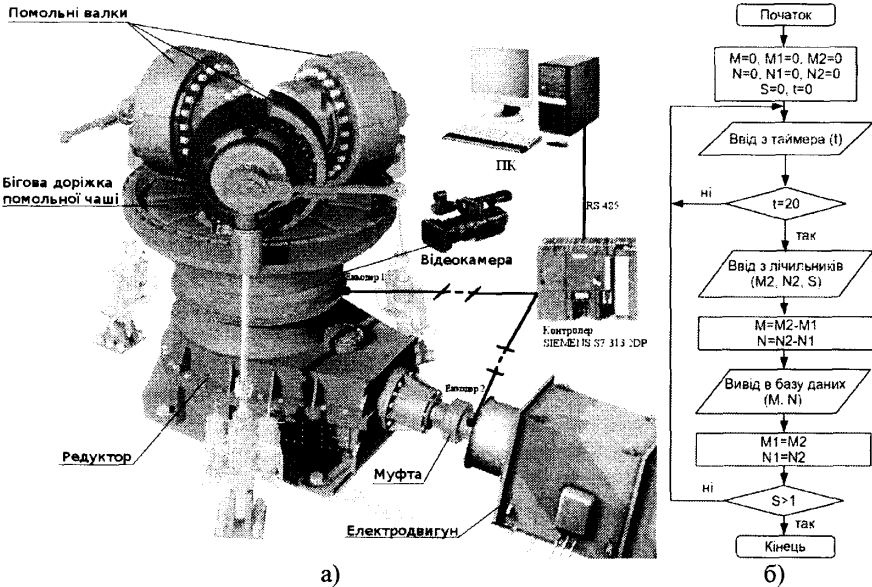


Рис.3. Вимірювальна система для зняття перехідної характеристики (а) та блок-схема алгоритму програми обробки даних (б)

Розроблена методика визначення вагової величини зносу робочих органів ВВМ, які відпрацювали свій ресурс, полягала у розбивці їх на сектори з подальшим зняттям гіпсових відбитків зношених поверхонь, наступному їх зважуванні та переводі питомої ваги гіпсу у питому вагу високохромистого чавуну (хромкусу), з якого вони виготовлені. Результати порівняння величини зносу ПВ та БД за стандартною методикою показали, що остання дає занижену величину зносу по БД на 28,6% - 34,5%; для ПВ: «лівого» - до 33,8%, «правого» - на 43,6% і «заднього» валка до 65,0%. Вказане дозволило врахувати похибку традиційного методу вимірювання величини зносу з тим, щоб в процесі подальших експериментів при проведенні вимірювання величини зносу ПВ та БД отримати його реальні значення.

Була розроблена також процедура використання пакету System Identification Toolbox в середовищі Matlab для проведення параметричної ідентифікації дискретних лінійних моделей стосовно параметричної ідентифікації технічного стану робочих органів ВВМ

В четвертому розділі аналізується експериментальний матеріал і проводиться розробка методів контролю технічного стану робочих органів ВВМ. Аналіз попередньо отриманого експериментального матеріалу показав, що:

- незначна зміна вібростану його основних вузлів (гідроциліндрів, опорних підшипників електроприводу ПЧ та редуктора) в процесі зношування ПВ та БД не може слугувати інформаційним параметром технічного стану останніх;

- візуальний аналіз спектрів вібрації ПЧ, отриманих в різний період її експлуатації, не дозволяє виявити зміни гармонійних, субгармонійних чи просто спектральних складових в аналізованій смузі частот, що вимагає при розробці методу контролю ПВ та БД ВВМ за його вібраційними характеристиками, використовувати результати аналітичних досліджень;

- віброшвидкість коливань ПЧ не може бути використана для побудови ПХ ВВМ у зв'язку зі значною похибкою (5.0%-10.3%), що вимагає використання при побудові ПХ такого параметра, як швидкість обертання ПЧ.

Розглянуті теоретичні передумови і запропонований практичний алгоритм реалізації методу контролю зносу робочих поверхонь ПВ та БД на основі вимірювання та аналізу вібраційних характеристик процесу помолу вугілля. За результатами аналітичних досліджень було встановлено, що вугілля має сталій відсотковий склад за розміром фрагментів, тому за питомою кількістю віброударів, виміряною під час розколювання фрагментів значного розміру, можна обчислити питому кількість фрагментів, сигнали від яких не фіксуються давачами через мале співвідношення «сигнал/шум», і, відповідно, визначити величину зносу ПВ та БД виходячи з того, що кожний довільний кусок вугілля може бути замінений однаковим по масі ідеальним фрагментом сферичної форми

з еквівалентним радіусом $R_{екв} = \frac{D_{фракт}}{2}$, де $D_{фракт}$ - дослідна фракція вугілля. Далі проводилася оцінка діапазону отримуваних частот в залежності від $R_{екв}$, який приймався $R_{екв} = 0 - 25$ мм і $R_{екв} = 0 - 17$ мм та визначалися граничні частоти:

1. Для 5% випадків, кількість фрагментів з $R_{екв} = 25$ мм, які можна викласти по внутрішньому колу БД: $n_{A1}^{25} = s_1 / (2R_{екв}) = 3,142 / (2 \cdot 25) \approx 63$ і для 95% випадків з $R_{екв} = 17,5$ мм. $n_{A1}^{17,5} = s_1 / (2R_{екв}) = 3,142 / (2 \cdot 17,5) = 89,759 \approx 90$.

Часові періоди між імпульсами та частота їх чередування в цьому випадку (рис.4) розраховувалися наступним чином:

Для радіусу $R_{екв} = 25$ мм: $T_1^{25} = T_{\Sigma} / n_{A1}^{25} = 1,579 / 63 = 0,025$ с. $f_1^{25} = 1 / T_1^{25} = 39,89 \approx 40$ Гц.

Аналогічно для радіусу $R_{екв} = 17,5$ мм: $f_1^{17,5} = 1 / T_1^{17,5} = 56,998 \approx 57$ Гц.

2. Аналогічно для зовнішнього кола: $n_{A2}^{25} = s_2 / (2R_{екв}) = 5,654 / (2 \cdot 25) = 113,08 \approx 113$. $n_{A2}^{17,5} = s_2 / (2R_{екв}) = 5,654 / (2 \cdot 17,5) = 161,54 \approx 162$.

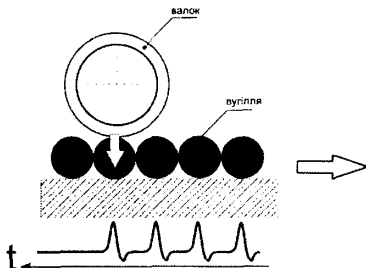


Рис.4. Схематичне зображення формування імпульсів в процесі помолу вугілля



Рис.5. Схематичне зображення процесу помолу вугілля у ВВМ

Часові періоди між імпульсами та частота їх чередування для радіусу $R_{\text{сн}} = 25 \text{ мм}$. $f_2^{25} = 1/T_2^{25} = 71,564 \approx 72 \text{ Гц}$. Для радіусу $R_{\text{сн}} = 17,5 \text{ мм}$: $f_2^{17.5} = 1/T_2^{17.5} = 102,3 \approx 102 \text{ Гц}$. Внаслідок значних притискних зусиль, фрагменти

вугілля руйнують робочі поверхні БД та ПВ. Оцінити ступінь зносу їх робочих поверхонь можна, знаючи твердість НВ сплаву з якого вони виготовлені.

Знаючи значення НВ, розміри кульок еквівалентних розмірам вугільних фрагментів, та силу притиску F процес помолу можна представити наступним чином (рис.5). Були отримані графічні залежності зміни контактних площ для ПВ $M(r)$ та БД $S(r)$ [м²] (глибини їх вдавлення) від розглянутих радіусів вугільних фрагментів (0,25...25мм).

Одержані розрахункові дані дозволили сформулювати алгоритм вібродіагностування технічного стану робочих органів ПВ та БД.

Оскільки характер ПХ ВВМ залежить від його динамічних характеристик, можна припустити, що зменшення маси ПВ та БД зобумовлених їх зносом, яке може сягати 600 кг, відобразиться на зміні ПХ, тому останню можна прийняти за ДО стану ПВ та БД. Виходячи з цього було проведено визначення ДО стану ПВ та БД ВВМ на основі методів параметричної ідентифікації ПХ. Проведена ідентифікація методом кратних коренів, яка була реалізована в середовищі Matlab у пакеті System Identification Toolbox, показала, що зміна сталої часу із періодом експлуатації ВВМ має випадковий характер і не дозволяє використати цей показник як ДО (рис.6).

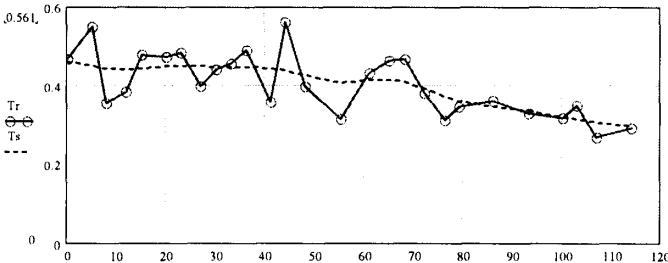


Рис.6. Залежність постійної часу перехідної характеристики від періоду експлуатації ВВМ

У зв'язку з цим було визначено ДО за уточненою ПХ, отриманою шляхом одночасного вимірювання ПХ по двом каналам «напруга на вході електроприводу млина-частота обертання його ротора» та «напруга на вході електроприводу млина-частота обертання привідного вала помольної чаші» з подальшим усередненням, що дозволило уточнити вхідний сигнал системи, яка підлягає ідентифікації. Розраховано, що система 3-го порядку, яка підлягає ідентифікації, є оптимальною. Модель 3-го порядку з коливною ланкою можна представити у наступному вигляді:

$$K(s) = \frac{K}{(1 + 2 \cdot \text{Zeta} \cdot T_w \cdot s + (T_w \cdot s)^2)(1 + T_p 3 \cdot s)} \quad (12)$$

В той же час наявність низхідного тренду вказує на те, що застосування моделей вищих порядків, які більш адекватно описують експериментальні дані, може дати позитивний результат.

Після проведення попереднього аналізу 16 моделей ідентифікації зупинилися на трьох - P3DU, P3DZU та P3ZU. Згладжування вхідних сигналів методом локальної регресії другого порядку з шириною вікна рівною 30 (рис.7) дозволило підвищити степінь

співпадіння розра хункових даних з експерименталь-ними до 90...97%, і, тим самим, підвищити вірогідність визначення параметрів моделі. Проведені результати розрахунків показали, що один із параметрів (Tr_3 – постійна часу однієї з ланок функції передачі) систематично змінюється від менших до більших значень для моделей із затримкою. На рис. 8 представлено графік зміни діагностичної ознаки $-Tr_3$ в часі за допомогою якої можна контролювати технічний стан ВВМ.

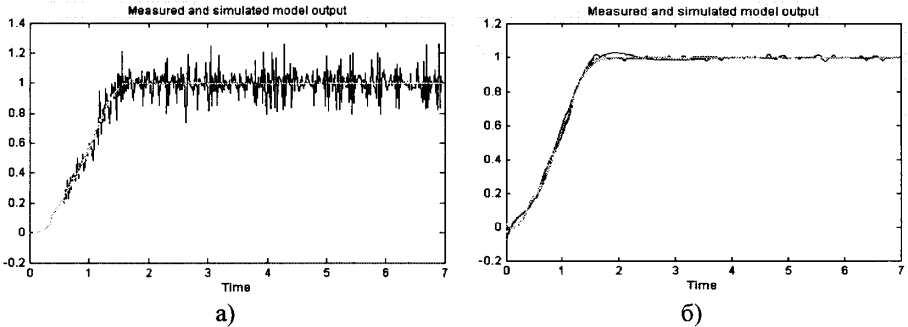


Рис.7. Результати симуляції виходу моделі для експериментальних даних: а – для незгладжених даних; б – для згладжених даних

Проводилося також визначення ДО за методом Симою та на основі моделі авторегресії, для чого було використанням 29 ПХ отриманих на протязі року експлуатації ВВМ. Для реалізації моделі авторегресії було використано метод Берга (Burg), який відрізняється високою роздільною здатністю при аналізі коротких сигналів і гарантованою стабільністю розрахованого формулю чого фільтру та реалізований в середовищі MatLab. Як видно з отриманих результатів (рис.9 і рис.10) для визначення ДО

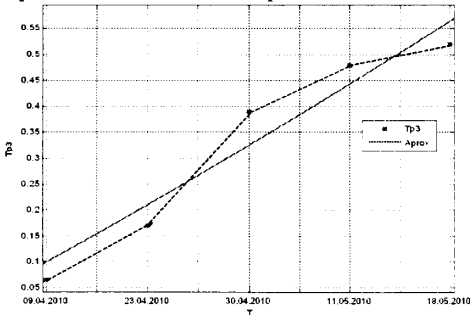


Рис.8. Зміна діагностичної ознаки Tr_3 від періоду експлуатації T

технічного стану робочих органів, модель авторегресії є більш ефективною, оскільки значення ДО – значення полюса зменшується у 2,8 раз за 90 днів експлуатації ВВМ, в той час як за методом Симою воно є значно меншим і становить -1.6.

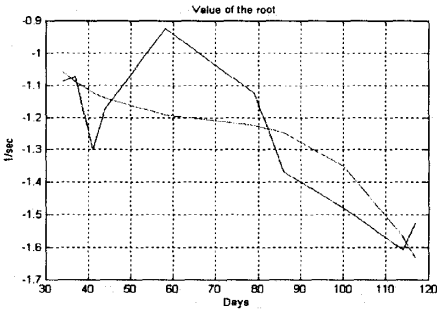


Рис.9. Зміна полюса (метод Симою) від періоду експлуатації ВВМ

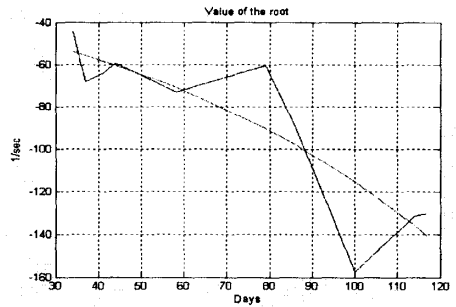


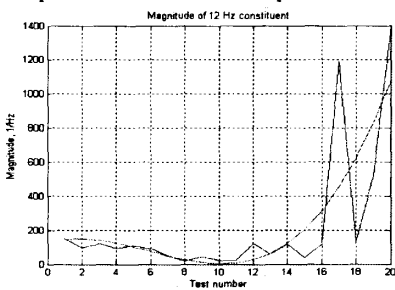
Рис.10. Зміна полюса AR- моделі від періоду експлуатації

Враховуючи, що для ідентифікації може бути використана ділянка встановленого режиму ПХ, яка представлена випадковим процесом, було використано метод непараметричної ідентифікації для контролю технічного стану ПВ та БД, зокрема метод Уелча (Welch) - метод осереднення модифікованих періодограм. За допомогою функції PSD MatLab 6.5, яка реалізує метод Уелча, були визначені спектри потужності (рис.11). При цьому використовувалось вікно Хемінга, довжина якого вибрана так, що з урахуванням перекриття 50 % сигнал розділяється на 8 фрагментів. Кількість ПХ використаних при проведенні ідентифікації стану ВВМ становила 20.

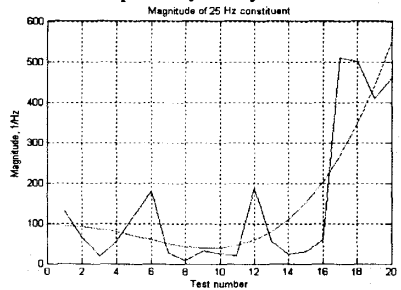
Як видно з рис. 11 амплітуди спектральних складових на частоті 12 Гц і 25Гц суттєво виділяються на загальному фоні і можуть бути вибрані як ДО стану ВВМ, зміна яких відповідає зміні величини зношування його робочих органів.

У п'ятому розділі спроектовано мікроконтролерну систему діагностування ВВМ, структурна схема якої наведена на рис.12.

Система складається з трьох функціонально завершених частин – модуля вібродавача з підсилювачем, лінії зв'язку та мікроконтролерного модуля, побудованого на базі мікроконтролера АТмега 8515 і працює наступним чином: електричний сигнал від вібродавача підсилюється в окремому модулі підсилювача



а)



б)

Рис.11. Зміна амплітуди спектральних складових на частоті а) 12 Гц і б) 25 Гц від періоду експлуатації ВВМ



Рис.12. Структурна схема мікроконтролерної системи діагностування

віброелектричних коливань, який фізично міститься в безпосередній близькості від вібродавача. Підсилений сигнал через лінію зв'язку довжиною 10м надходить на вхід смугопропускного фільтра (СПФ) мікроконтролерного модуля системи діагностування. Така схема дозволяє зменшити вплив наведених сторонніх електромагнітних завад на корисний сигнал. СПФ виділяє з загального віброелектричного сигналу інформаційну смугу, яка і аналізується за допомогою мікроконтролера, що працює на тактовій частоті 11,0592МГц, яка дозволяє узгоджувати швидкість передачі даних на всіх стандартних частотах СОМ-порта. Для цифрового перетворення використовується 12-розрядне АЦП LTC1860.

На основі визначеної, за результатами проведених аналітичних досліджень, інформативної полоси спектра частот, була синтезована принципова схема фільтра з використанням системи проектування електронних схем MicroCAP. Реалізація фільтра з використанням ланок Саллена-Кі дозволила мінімізувати апаратні витрати на проектування. Підсилювач до віброакустичного давача розроблено на основі низькошумливого спеціалізованого інструментального підсилювача INA163 фірми Burr-Brown/Texas Instruments, США.

Програмне забезпечення мікроконтролерної системи діагностування розроблене з використанням стандартної Сі-бібліотеки, та спеціалізованої AVR-бібліотеки, що входять до складу CodeVision.

Програма мікроконтролера за розробленим алгоритмом діагностування оцінює ступінь зносу поверхонь ПВ та БД ВВМ. Мікроконтролер під'єднується до зовнішнього промислового контролера управління ВВМ типу Simatic S7-400 фірми Siemens, за допомогою інтерфейсу RS-232C. За запитом зовнішнього контролера система діагностування видає розраховану величину зносу робочих поверхонь млина.

Було проведено розрахунок похибки розробленої системи діагностування з використанням методів теорії ймовірності і математичної статистики, яка склала 1.8%.

Наводиться розроблена процедура визначення періоду контролю технічного стану, на основі якої отримана залежність показника готовності від періоду контролю (рис.18).

Як видно з графіка, при значенні показника готовності 0.96 період діагностування становить 96 год (4 доби).

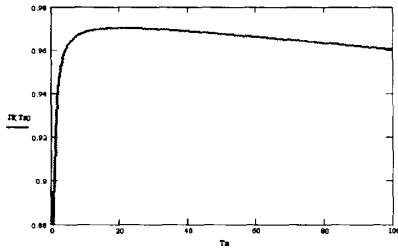


Рис. 13. Залежність показника готовності ВВМ від періоду контролю

Проведена промислова апробація розроблених методів контролю технічного стану робочих органів ВВМ на ВАТ «Івано-Франківськцемент» показала їх працездатність. Для визначення граничних значень вибраних ДО, за якими можна буде прогнозувати зупинку ВВМ за фактичним технічним станом ПВ та БД, необхідно мати значну базу статистичного матеріалу, яка знаходиться в стадії накопичення.

ВИСНОВКИ

У дисертації подано нове рішення науково-технічної задачі, яке полягає в розробленні методів і засобів оперативного контролю технічного стану робочих органів вертикальних валкових млинів, що сприяють забезпеченню надійності їх роботи, підвищенню ефективності процесу помолу вугілля та якості вихідного продукту - пилевугільної суміші.

Основні результати роботи полягають в наступному:

1. Проведений аналіз відомих методів контролю і діагностування технічного стану млинів різних конструкцій, стосовно використання їх для ВВМ, показав відсутність такої можливості, що обумовлено конструктивними особливостями, які визначають неконтолепридатність ВВМ. Обґрунтована можливість використання методів параметричної і віброакустичної діагностики, а також методів ідентифікації об'єктів для вирішення поставлених в роботі задач.

2. Досліджена природа руйнування вугілля у ВВМ і виникаючих при цьому процесів зношування поверхні його робочих органів, яка обумовлюється також діючими на ВВМ факторами впливу, та отримані емпіричні залежності, що покладені в основу розробки методів контролю його технічного стану.

3. Розроблена узагальнена діагностична модель ВВМ та досліджені статистичні характеристики діючих на нього параметрів та показників, як процесу помолу вугілля, так і технічного стану ВВМ, що дозволило відібрати з них найбільш інформативні, які можна використати за ДО його технічного стану.

4. Розроблено методичне, технічне та програмне забезпечення досліджень, яке дозволило провести комплекс експериментів, проаналізувати отримані дані та скорегувати процедуру проведення подальших експериментальних досліджень в напрямку зменшення їх кількості.

5. Обґрунтовані теоретичні передумови і запропоновано практичний алгоритм реалізації методу контролю технічного стану поверхонь робочих органів ВВМ на основі вимірювання та аналізу вібраційних характеристик процесу помолу вугілля. Встановлено, що за питомою кількістю віброударів, вимірних під час помолу кусків вугілля значного розміру, можна обчислити питому їх кількість, сигнали від яких не фіксуються давачами через мале

співвідношення «сигнал/шум», а також визначити кількість металу, зруйнованого в процесі помолу.

6. З використанням методів параметричної ідентифікації (метод кратних коренів, метод Симою, модель P3DZU та модель авторегресії) визначені ДО технічного стану ВВМ за ПХ та уточненою ПХ, за результатами аналізу яких обґрунтована подальша доцільність використання параметра $Tr3$ – постійної часу функції передачі коливної ланки моделі P3DZU та полюса моделі авторегресії за ДО при розробці методів контролю технічного стану робочих органів ВВМ.

7. Обґрунтована можливість використання методів непараметричної діагностики для контролю технічного стану робочих органів ВВМ за його ПХ шляхом визначення потужності спектру її встановленого значення методом Уелча, та вибрані ДО - амплітуди спектру на частоті 12 Гц і 25 Гц, зростання яких вказує на збільшення величини зносу робочих органів ВВМ.

8. Розроблена мікропроцесорна система діагностування стану робочих органів ВВМ (спроєктовані і розроблені принципові електричні схеми блоків) та її прикладне програмне забезпечення, проведено розрахунок похибки системи і розроблена процедура визначення періоду контролю технічного стану робочих органів ВВМ, який при значенні показника готовності 0.96 становить 4 доби, а також проведена апробація і впровадження розроблених методів і мікропроцесорної системи на ВАТ «Івано-Франківськцемент».

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

1. Заміховський Л.М. Використання методу параметричної діагностики для контролю технічного стану робочих органів вертикального валкового млина MPS 180BK / Л.М. Заміховський, Р.Б. Скрип'юк // Прилади та методи контролю якості. – Івано-Франківськ, 2010. – № 25. – С. 74–80.

2. Заміховський Л.М. Вибір діагностичної ознаки технічного стану робочих органів вертикального валкового млина MPS 180BK на основі методу його параметричної діагностики за уточненою перехідною характеристикою / Л.М. Заміховський, Р.Б. Скрип'юк // Вісник НТУ «ХПІ». Харків, 2010. – № 57. – С. 133–140.

3. Заміховський Л.М. Розгінна характеристика вертикального валкового млина PFEIFFER AG - MPS 180BK як діагностична ознака технічного стану його робочих органів / Л.М. Заміховський, Р.Б. Скрип'юк // Нафтогазова енергетика.- Івано-Франківськ, 2010. – № 2(13). – С. 87–92.

4. Заміховський Л.М. Метод контролю технічного стану вертикального валкового млина AG MPS 180 BK за його вібраційними характеристиками / Л.М. Заміховський, Р.Б. Скрип'юк, В.А. Ровінський // Нафтогазова енергетика. – Івано-Франківськ, 2010. – №1(12). – С. 138–142.

5. Заміховський Л.М. Аналітичні дослідження процесу початкового завантаження вугілля у помольну чашу млина AG MPS 180 BK та його руйнування / Л.М. Заміховський, Р.Б. Скрип'юк // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – Київ, 2010. – №76. – С. 9–14.

6. Заміховський Л.М. Мікроконтролерна система діагностування технічного стану робочих органів вертикального валкового млина / Л.М.Заміховський, Р.Б. Скрип'юк // Восточно - Европейский журнал передовых технологий. – Харьков, 2010. – № 6/8 (48). – С. 64-67.

7. Заміховський Л.М. Використання методу непараметричної ідентифікації для діагностування технічного стану робочих органів вертикального валкового млина AG-MPS 180 BK / Л.М.Заміховський, Р.Б. Скрип'юк // Вісник нац. тех. ун-ту «ХПІ»: збірник наукових праць. – Харків, 2009. – № 37. – С. 89 – 93.

8. Заміховський Л.М. Дослідження взаємодії кусків вугілля різної форми з помольною чашею в процесі їх руйнування у вертикальному валковому млині / Л.М.Заміховський, Р.Б. Скрип'юк // «Наукові вісті» Галицької академії. – Івано-Франківськ, 2009. – № 2(16). – С. 8-16.

9. Заміховський Л.М. Дослідження зношення робочих органів вертикального валкового млина MPS 180 BK / Л.М. Заміховський, Р.Б. Скрип'юк // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – Київ, 2008. – №72. – С. 34-41.

10. Заміховський Л.М. Статистичні характеристики показників якості процесу помолу вугілля у вертикальному валковому млині MPS 180BK фірми PFEIFFER AG / Л.М.Заміховський, Р.Б. Скрип'юк // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков, 2008 – № 5/5 (35). – С. 12-16.

11. Заміховський Л.М. Статистические характеристики показателей, характеризующих тонкость помола угля в вертикальной валковой мельнице / Л.М. Заміховський, Р.Б. Скрип'юк // Методы и средства технической диагностики: сб. научных статей / Мар. гос. ун-т. – Йошкар-Ола, 2008. – С. 205-211.

12. Заміховський Л.М. Інформаційні показники процесу помолу вугілля у вертикальному валковому млині / Л.М. Заміховський, Р.Б. Скрип'юк // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков, 2008. – № 2/2 (32). – С. 54 – 58.

13. Скрип'юк Р.Б. Аналіз факторів, що обумовлюють стан вертикального валкового млина як об'єкта контролю / Р.Б. Скрип'юк // Наукові вісті інституту менеджменту і економіки «Галицька академія». – Івано-Франківськ, 2007. – № 2(12). – С. 4-8.

14. Скрип'юк Р.Б. Вибір діагностичних ознак стану вертикального валкового млина / Р.Б. Скрип'юк // Наукові вісті інституту менеджменту і економіки «Галицька академія». – Івано-Франківськ, 2005. – № 2(8). – С. 128-132.

15. Скрип'юк Р.Б. Дослідження взаємного руху валків та помольної чаші млина AG-MPS 180BK в процесі їх зношування / Р.Б. Скрип'юк // Методи і засоби діагностики в техніці і соціумі. МіЗДТС -2009 : XXVI Міжн. міжвуз. школа-семінар, 5-9 жовтня 2009 року : реф. зб. наук. праць, вип. XXVI (II). – Івано-Франківськ, 2009. – С. 8.

16. Скрип'юк Р.Б. Дослідження інформативних параметрів контролю стану вертикального валкового млина / Р.Б. Скрип'юк // Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікацій «РТ-2008»: 4-а міжнар. молодіжна наук.-техн. конференція, 21-25 квітня 2008 р.: матеріали. – Севастополь: Вид-во СевНТУ, 2008. – С. 216.

17. Скрип'юк Р.Б. Дослідження алгоритму діагностування зношування робочих органів вертикального валкового млина MPS 180BK / Р.Б. Скрип'юк // Сучасні прилади, матеріали і технол. для неруйнівного контролю і техн. діагностики машинобуд. і нафтопромисл. обладнання: V Міжнар. наук.-техн. конференція, 2-5 грудня 2008 р.: Зб. тез доповідей. – Івано-Франківськ, 2008. – С. 117–119.

18. Скрип'юк Р.Б. Статистичні характеристики діагностичних параметрів технічного стану вертикальних валкових млинів / Р.Б. Скрип'юк // Методи і засоби діагностики в техніці і соціумі МіЗД ТС -2009 : XXVI Міжн. міжвуз. школа-семінар, 8-12 жовтня 2007 року: реф. зб. наук. праць, вип. XXIV (I). – Івано-Франківськ, 2007. – С. 6.

АНОТАЦІЯ

Скрипюк Р.Б. Контроль технічного стану вертикальних валкових млинів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення складу речовин. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, 2011.

В роботі проаналізовані відомі методи контролю технічного стану млинів різних конструкцій стосовно використання їх для ВВМ, показана обмеженість цих методів для вирішення задач діагностування ВВМ, а також методів ідентифікації об'єктів за ПХ для вирішення поставлених в роботі задач.

Проведені аналітичні дослідження взаємозв'язку процесу помолу вугілля та зношення робочих органів ВВМ і розроблена узагальнена модель ВВМ.

Розроблено методичне, технічне і програмне забезпечення експериментальних досліджень. Розроблено метод контролю технічного стану ВВМ за його вібраційними характеристиками, а також визначені ДО стану ВВМ на основі методів його параметричної ідентифікації за ПХ – параметр $Tr3$ моделі P3ZU, значення полюса моделі авторегресії та амплітуди спектрів на частоті 12Гц і 25Гц, визначені методом непараметричної діагностики.

Розроблена мікроконтролерна система діагностування ВВМ, її програмне забезпечення та проведено розрахунок похибки розробленої системи, яка склала 1.811%, а також встановлено, що при значенні показника готовності 0.96 період діагностування становитиме 4 доби.

Проведена промислова апробація розроблених методів контролю технічного стану робочих органів ВВМ на ВАТ «Івано-Франківськцемент».

Ключові слова: вертикальний валковий млин, помольні валки, бігова доріжка, аналітичні дослідження, модель, методи контролю, система діагностування, показник готовності.

АННОТАЦИЯ

Скрипюк Р.Б. Контроль технического состояния вертикальных валковых мельниц. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук за

специальностью 05.11.13 - приборы и методы контроля и определения состава веществ. - Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, г. Ивано-Франковск, 2011.

Работа посвящена решению проблемы оперативного контроля технического состояния рабочих органов – помольных валков (ПВ) и беговой дорожки (БД) помольной чаши (ПЧ) ВВМ в процессе его эксплуатации. В связи с этим в работе проанализированы конструктивные особенности ВВМ и современное состояние проблемы контроля износа ПВ и БД ВВМ. Установлено отсутствие существующих методов оперативного контроля технического состояния ВВМ, его неконтролепригодность, что не позволяет устанавливать датчики в наиболее информативных местах на его корпусе, а также показана возможность использования методов параметрической, виброакустической диагностики, и методов идентификации объектов при разработке методов контроля технического состояния ВВМ. Для решения поставленных в работе задач проведены аналитические исследования взаимосвязи процесса помола угля и износа рабочих органов ВВМ и разработана обобщенная модель ВВМ.

Создана обобщена диагностическая модель ВВМ и определены факторы (параметры и показатели), обуславливающие эффективность процесса помола угля и износа его рабочих органов ВВМ. Проведены аналитические исследования взаимодействия куска угля разной формы и размеров с поверхностью БД и ПВ в процессе его разрушения для разных случаев расположения куска угля на БД. Получены эмпирические зависимости интенсивности удельного давления на ПВ от геометрических размеров куска угля для разной величины износа БД и зависимости удельного давления от радиуса закруглявшего БД и величины износа при разных значениях скорости ее вращения.

Проведены статистические исследования факторов (параметров и показателей), которые определяют процесс помола угля и износа ПВ и БД, а также определен наиболее влиятельный фактор, который может быть принят за диагностический признак (ДП) состояния ВВМ. Разработано методическое, техническое и программное обеспечение экспериментальных исследований и проанализированы экспериментальные данные.

Рассмотренные теоретические предпосылки, исходя из которых определена информативная полоса частотного спектра (40.0-102.0Гц), и предложен практический алгоритм реализации метода контроля износа рабочих поверхностей ПВ и БД на основе измерения и анализа вибрационных характеристик процесса помола угля в данной полосе спектра.

Определены ДП технического состояния ВВМ на основе методов его параметрической идентификации по переходной характеристике (метода кратных корней, метода Симою, с использованием модели РЗУ и модели авторегрессии), а также метода непараметрической идентификации (метода Уелча). Показано, что при определении ДП технического состояния рабочих органов, модель авторегрессии является более эффективной, поскольку значение ДП - значение полюса уменьшается в 2,8 раз за 90 дней эксплуатации ВВМ, в то время как по методу Симою оно является значительно меньшим и составляет - 1.6. Указанный ДП, а также ДП – параметр Tr_3 модели РЗУ, и амплитуды спектров на частоте

12Гц и 25Гц, определенные методом непараметрической диагностики, могут быть положены в основу методов контроля технического состояния ВВМ.

Разработана микроконтроллерная система диагностирования ВВМ, ее программное обеспечение. Программа микроконтроллера по разработанному алгоритму диагностирования оценивает степень износа поверхностей ПВ и БД ВВМ. Микроконтроллер подсоединяется к внешнему промышленному контроллеру управления ВВМ типа Simatic S7 - 400 фирмы Siemens, с помощью интерфейса RS - 232C. Проведен расчет погрешности разработанной системы, которая составила 1.811%, а также разработана процедура определения периода контроля технического состояния, на основе которой получена зависимость показателя готовности от периода контроля. Установлено, что при значении показателя готовности 0.96 период диагностирования составит 96 часов (4 сутки).

Ключевые слова: вертикальная валковая мельница, помольные валки, беговая дорожка, аналитические исследования, модель, методы диагностирования, система диагностирования, показатель готовности.

ANNOTATION

Skrypyuk R.B. The vertical roll mill technical state control. – Manuscript.

The thesis for obtaining the scientific degree of Candidate of Technical Sciences by speciality 05.11.13 – Devices and Methods of Testing and Defining of Matter Composition. – Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 2011.

The different kinds of mills technical state control known methods are analysed in presented work in context of one's possible using to investigate the vertical roll mills (VRM) technical state. The considering methods boundedness to solve the VRM diagnostics problem are showed, the parametric and vibroacoustic diagnostics methods using possibility are grounded both with the object's identification methods using transfer characteristics to solve the put by problems.

The VRM working body wear and tear and the coal grinding process correlation analytical investigation are conducted, the VRM generalized model are designed.

The experimental investigation software, device and manual are designed. The VRM technical state control method based on the one's vibration characteristics is designed. The VRM state diagnostic features are defined based on the transfer characteristics parametric identification method using the P3ZU model Tp3 parameter, the autoregression model pole value, the spectrum amplitude on the 25 and 15 Hertz, which was determined by the non-parametric diagnostics method.

The VRM diagnostic microcontroller system is designed both with one's software, the designed system error calculation was made, the one's value is 1,811%, it was established that the diagnostics period equal 4 days and nights if the readiness index is equal 0,96.

The VRM working body technical state control designed methods industrial approbation was made on the "Ivano-Frankivskcement" Company.

Key words: vertical roll mill, grinding rolls, race course, analytical investigation, model, method of control, the diagnostic system, index of readiness.