

Міністерство освіти і науки України
Державний ВНЗ «Національний гірничий університет»

Факультет інформаційних технологій
(факультет)

Кафедра програмного забезпечення комп'ютерних систем
(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
дипломної роботи

магістра
(назва освітньо-кваліфікаційного рівня)

галузь знань *12 Інформаційні технології*
(шифр і назва галузі знань)

спеціальність *122 Комп'ютерні науки*
(код і назва напряму підготовки)

спеціалізація *Інформаційні управляючі системи та технології*
(код і назва спеціальності)

освітній рівень *магістр*
(назва освітнього рівня)

кваліфікація *інженер з комп'ютерних систем*
(назва кваліфікації)

на тему: *Удосконалення підсистеми синтезу оптимального керування
для АСУ процесом крупного дроблення руд*

Виконавець:

студент 2 курсу, групи 122м-16-1

(підпис)

Мельничук Д.В.

(прізвище та ініціали)

Керівники	Посада, прізвище, ініціали	Оцінка	Підпис
проекту	<i>д.т.н. проф. Корнієнко В.І.</i>		
розділів:			
Спеціальний	<i>д.т.н. проф. Корнієнко В.І.</i>		
Економічний	<i>доц. Касьяненко Л.В.</i>		

Рецензент			
-----------	--	--	--

Нормоконтроль	<i>к.т.н. доц. Коротенко Л.М.</i>		
---------------	-----------------------------------	--	--

Дніпропетровськ
2018

**Міністерство освіти і науки України
Державний вищий навчальний заклад
«Національний гірничий університет»**

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри

програми забезпечення комп'ютерних систем
_____ (повна назва)

_____ (підпис) І.М. Удовик
_____ (прізвище, ініціали)

« » _____ 20 ____ року

**ЗАВДАННЯ
на виконання кваліфікаційної роботи магістра**

спеціальності _____ 122 Комп'ютерні науки
_____ (код і назва спеціальності)

студенту _____ 122м-16-1 _____ Мельничук Д.В.
_____ (група) _____ (прізвище та ініціали)

Тема дипломної роботи _____ Удосконалення підсистеми синтезу оптимального керування для АСУ процесом крупного дроблення руд

1 ПІДСТАВИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

Наказ ректора Державного ВНЗ «НГУ» від __.__.201_р. № _____-л

2 МЕТА ТА ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБІТ

Об'єкт досліджень – керування технологічними процесами дроблення та здрібнювання руд на гірничо-збагачувальних комбінатах

Предмет досліджень – принципи і методи створення автоматизованих систем оптимального керування процесами крупного дроблення і самоздрібнювання руд та засоби їх реалізації

Мета НДР – удосконалення підсистеми синтезу адаптивного оптимального керування для автоматизованої системи управління процесом ККД з прогнозуючою моделлю.

Вихідні дані для проведення роботи:

Результати виробничої та переддипломної практик.

3 ОЧІКУВАНІ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ

Наукова новизна полягає у: вдосконаленні підсистеми синтезу оптимального управління процесом ККД, що здійснюється в ході функціонування АСУ за принципом мінімуму узагальненої роботи на змінному інтервалі оптимізації.

Практична цінність результатів полягає у: розробці алгоритму адаптивного оптимального управління процесом ККД, що включає процедури оцінки стану керованого процесу, ідентифікації його прогнозуючої моделі, прогнозування руху процесу, а також синтезу оптимального управління, що дозволяє реалізувати АСУ процесом ККД, інваріантну до змін режимів роботи обладнання і збурення середовища, і, таким чином, підвищити якість управління.

4 ВИМОГИ ДО РЕЗУЛЬТАТІВ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

5 ЕТАПИ ВИКОНАННЯ РОБІТ

Найменування етапів робіт	Строки виконання робіт (початок – кінець)
Огляд джерел за темою та напрям досліджень	20.09.17-06.10.17
Розробка методів досліджень	07.10.17-24.11.17
Результат досліджень	22.11.17-15.12.17
Виконання економічного розділу	14.12.17-29.12.17

6 РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ

- **Економічний ефект** від реалізації результатів роботи очікується позитивним завдяки: підвищенню оперативності управління комплексом ККД, зниження питомих енерговитрат на дроблення руди, можливості нарощення об'ємів виробництва за рахунок удосконалення процесів.

Соціальний ефект від реалізації результатів роботи очікується позитивним завдяки спрощенню роботи оператору з АСУ, надання йому більш розширеної та узагальненої інформації з відображенням аналітичних показників.

7 ДОДАТКОВІ ВИМОГИ

Завдання видав

_____ (підпис)

Корнієнко В.І.

_____ (прізвище, ініціали)

Завдання прийняв до виконання

_____ (підпис)

Мельничук Д.В.

_____ (прізвище, ініціали)

Дата видачі завдання: 01.09.17р.

Термін подання дипломного проекту до ДЕК 16.01.18 р.

Реферат

Пояснювальна записка: 93 с., 13 рис., 4 додатки., 58 джерел.

Об'єкт дослідження: керування технологічними процесами дроблення та здрібнювання руд на гірничо-збагачувальних комбінатах.

Мета магістерської роботи: удосконалення підсистеми синтезу адаптивного оптимального керування для автоматизованої системи управління процесом ККД з прогнозуючої моделлю.

Методи дослідження. При вирішенні поставленої задачі використовувалися наукові досягнення у сферах розробки інформаційних систем, адаптивних алгоритмів і програмного забезпечення.

Наукова новизна результатів, що очікуються, полягає у вдосконаленні підсистеми синтезу оптимального управління процесом ККД, що здійснюється в ході функціонування АСУ за принципом мінімуму узагальненої роботи на змінному інтервалі оптимізації.

Практична цінність результатів полягає в розробці алгоритму адаптивного оптимального управління процесом ККД, що включає процедури оцінки стану керованого процесу, ідентифікації його прогнозуючої моделі, прогнозування руху процесу, а також синтезу оптимального управління, що дозволяє реалізувати АСУ процесом ККД, інваріантну до змін режимів роботи обладнання і збурення середовища, і, таким чином, підвищити якість управління

Область застосування. Результати даної дипломної роботи можуть бути використані для оперативного управління і спостереження за аналітичною інформацією в АСУ процесом КД гірничозбагачувальними комбінатами, та іншими підприємствами, задіяними у сфері гірничодобувної промисловості.

Значення роботи та висновки. Удосконалена підсистема синтезу оптимального керування дозволяє включати процедуру оцінки стану керованого процесу, ідентифікувати його прогнозуючу модель, прогнозувати рух процесу.

У розділі «Економіка» проведені розрахунки трудомісткості розробки алгоритму адаптивного оптимального управління процесом ККД, розробки графічного інтерфейсу АСУ що покладається на розроблений алгоритм, тривалості його розробки, а також проведені маркетингові дослідження ринку збуту запропонованого рішення.

Список ключових слів: АСУ, ККД, АЛГОРИТМ, СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ, ПРОГНОЗУЮЧА МОДЕЛЬ.

The abstract

Explanatory note: 93 p., 13 fig., 4 applications, 58 sources.

Object of research: technological processes of crushing at mining and concentrating combines.

The purpose of the degree project: development of the algorithm for the synthesis of adaptive optimal control for the automated system for managing lump fragmentation process with the predictive model.

The scientific novelty of the results obtained is to solve the problem of the synthesis of optimal control of the lump fragmentation process carried out during the operation of the ACS on the principle of minimization of generalized work on a variable optimization interval.

The practical value of work is in developing an algorithm for adaptive optimal control of the lump fragmentation process, which includes procedures for assessing the state of the controlled process, identifying its predictive model.

The scope. The results of this thesis can be used for operational control and monitoring of analytical information in the automated control system of the lump crushing process by ore mining and processing plants.

The value of the work and conclusions. Advanced technique allows the design of information systems with significant reductions in both material costs and time, as evidenced by the developed software in the master's work.

Projections on development research. The improved subsystem of the synthesis of optimal control allows including a procedure for assessing the state of the managed process, identifying its predictive model, and predicting the movement of the process.

In section "Economics" calculated the complexity of developing the algorithm of adaptive optimal control of the lump crushing process, graphical interface of the control system, which relies on the developed algorithm, duration of its development, and also conducted marketing researches of the market of the proposed solution.

List of keywords: ACS, LUMP CRUSHING PROCESS, ALGORITHM, OPTIMAL CONTROL SYNTHESIS, PROGNOSTIC MODEL.

Зміст

Перелік скорочень	8
Вступ.....	9
1.1. Технології дроблення і здрібнювання	13
1.2. Аналіз існуючих систем автоматичного керування та засобів контролю процесами дроблення і здрібнювання.....	16
1.2.1. Процеси дроблення і здрібнювання як об'єкти керування.....	16
1.2.2. Системи керування процесами дроблення і здрібнювання	23
1.2.3. Засоби контролю процесів дроблення і здрібнювання	32
1.3. Висновки та постановка задачі	40
РОЗДІЛ 2. УДОСКОНАЛЕННЯ ПІДСИСТЕМИ СИНТЕЗУ ШЛЯХОМ РОЗРОБКИ МЕТОДУ АДАПТИВНОГО ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ В АСУ ПРОЦЕСОМ ККД.....	44
2.1. Передумови для удосконалення методу синтезу адаптивного оптимального керування в АСУ процесом ККД	44
2.2. Поточний стан справ у сфері керування ККД.....	44
2.3. Розробка алгоритму синтезу адаптивного управління процесом ККД за ФУР з прогнозуючою моделлю	46
2.4. Висновки.....	51
РОЗДІЛ 3. РЕАЛІЗАЦІЯ АСУ ПРОЦЕСОМ ККД	53
3.1. Призначення і мета створення АСУ	53
3.2. Структура АСУ процесу ККД.....	53
3.3. Функції АСУ процесом ККД.....	57
3.4. Розробка інтерфейсу АСУ для ККД	63
3.5. Оцінка ефективності АСУ процесом ККД.....	65
3.5. Висновки.....	67
РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	68
4.1. Визначення трудомісткості розробки програмного забезпечення	68
4.2. Витрати на створення програмного забезпечення та тривалість його розробки	71
4.3. Маркетингові дослідження ринку збуту розробленого програмного продукту	72
4.4. Оцінка економічної ефективності впровадження програмного забезпечення	74

ВИСНОВКИ.....	76
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	78
ДОДАТОК А. Текст програми.....	83
ДОДАТОК Б. Оцінка ефективності АСУ	89
ДОДАТОК В. Відгук на дипломну роботу магістра	92
ДОДАТОК Г. Рецензія на дипломну роботу магістра	93

Перелік скорочень

АСУ – автоматизована система управління

БМ – барабанний млин

ГЗК – гірничо-збагачувальний комбінат

КД – конусна дробарка

ККД – крупнокускове дроблення

ММС – млин мокрому самоздрібнювання

МСЗ – мокре самоздрібнювання

ОУ – об'єкт управління

РТП – розрахунок технічних показників

САК – система автоматичного керування

СК – спіральний класифікатор

СТЗ – системи технічного зору

ТОУ - технологічний об'єкт управління

ТП – технологічне підприємство

ФУР – функціонал узагальненої роботи

Вступ

Основними завданнями розвитку гірничо-металургійного комплексу є створення нових наукоємних технологій і поліпшення управління гірничо-металургійним комплексом. При цьому, пріоритетом наукових досліджень, зокрема, є розроблення алгоритмів і створення систем автоматичного керування технологічними процесами та роботою устаткування.

Внаслідок недостатньої автоматизації і комп'ютеризації продуктивність праці на вітчизняних гірничорудних підприємствах істотно відстає від світового рівня. До 50% основних витрат у собівартості гірничо-збагачувального комбінату і 70-85% витрат на електроенергію формують технологічні процеси рудопідготовки (дроблення і здрібнювання). Освоєння технології самоздрібнювання руд, особливістю якої є лише стадія крупного дроблення, дозволили знизити капітальні витрати на будівництво, але при цьому збільшилися питомі витрати електроенергії. Таким чином, актуальним є зниження витрат на ці процеси шляхом створення ефективних систем автоматизованого керування ними.

З позицій керування ці процеси є складними динамічними об'єктами з нестационарними параметрами, нелінійними залежностями і стохастичними змінними, що мають значні транспортні запізнювання, різні режими роботи і чутливі до якості руди.

Для керування процесами дроблення і здрібнювання руд поширення одержали системи, що використовують або динамічні моделі керованих процесів з адаптацією параметрів, або статичну оптимізацію, які в умовах варіації збурень (якості руди) і змінних режимів роботи устаткування не можуть забезпечити ефективне керування цими нелінійними процесами. Таким чином, існує невідповідність між складністю технологічних процесів та принципами і методами керування ними.

Розмаїтість технологічних схем дроблення і здрібнювання та їх складність викликає необхідність використання універсальних за цілями і ефективних за результатами принципів керування, що реалізовується шляхом

синтезу оптимального керування за допомогою методів аналітичного конструювання регуляторів. Однак, при їх практичному застосуванні виникають труднощі принципового характеру.

Оптимальне керування вимагає відповідної апіорної (адекватних прогнозуючих моделей) й апостеріорної (поточних вимірів і результатів обробки) інформації. Це потребує застосування маловитратних і ефективних засобів оцінювання й ідентифікації, для чого найбільш перспективним є використання інтелектуальних підходів (методів систем штучного інтелекту), зокрема, нейронних мереж і систем з нечіткою логікою, що здатні до навчання і є універсальними й ефективними апроксиматорами. Крім того, нестационарність і стохастичність керованих процесів потребує створення адаптивних систем керування, які ефективні в умовах варіації збурень і неконтрольованих змін властивостей (режимів роботи) об'єктів.

Отже, обґрунтування принципів та розробка методів і засобів створення автоматизованих систем оптимального керування процесами дроблення та здрібнювання руд, які підвищують ефективність керування першими стадіями дроблення та самоздрібнювання в умовах варіації режимів роботи устаткування і збуреного середовища, є актуальною.

Цілі та задачі дослідження. Цілю даної магістерської роботи є розв'язання актуальної проблеми підвищення ефективності автоматизованого керування процесами крупного дроблення і самоздрібнювання руд в умовах зміни їх параметрів і динамічних режимів роботи та збуреного середовища шляхом синтезу і реалізації оптимального керування в процесі функціонування автоматизованих систем керування на основі ідентифікації та прогнозування стану керованих процесів з контролем основних збурень.

Об'єкт дослідження – керування технологічними процесами дроблення та здрібнювання руд на гірничо-збагачувальних комбінатах.

Предмет дослідження - принципи і методи створення автоматизованих систем оптимального керування процесами крупного дроблення і самоздрібнювання руд та засоби їх реалізації.

В основу дослідження покладені методи аналітичного конструювання оптимальних та агрегованих регуляторів для обґрунтування принципів та розробки алгоритму оптимального керування для розробки способів контролю крупності і міцності.

Ідея роботи полягає в вдосконаленні підсистеми синтезу оптимального керування для автоматизованої системи управління процесом крупного дроблення руд.

Методи дослідження. При вирішенні поставленої задачі використовувалися наукові досягнення у сферах розробки інформаційних систем, адаптивних алгоритмів і програмного забезпечення.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у вирішенні завдання синтезу оптимального управління процесом ККД, що здійснюється в ході функціонування АСУ за принципом мінімуму узагальненої роботи на змінному інтервалі оптимізації із залученням інформації про стан керованого процесу до нового інтервалу оптимізації і його майбутнього стану за прогнозуючою моделлю, що дозволяє спростити рішення задачі синтезу для нелінійного процесу ККД і компенсувати збурення, а це, в свою чергу, забезпечує підвищення якості управління цим процесом.

Практичне значення отриманих результатів полягає в розробці алгоритму адаптивного оптимального управління процесом ККД, що включає процедури оцінки стану керованого процесу, ідентифікації його прогнозуючої моделі, прогнозування руху процесу, а також синтезу оптимального управління, що дозволяє реалізувати АСУ процесом ККД, інваріантну до змін режимів роботи обладнання і збурення середовища, і, таким чином, підвищити якість управління.

Зв'язок роботи з державними програмами, планами науково-дослідних робіт.

Результати даної дипломної роботи можуть бути використані для оперативного управління і спостереження за аналітичною інформацією в АСУ

процесом КД гірничозбагачувальними комбінатами, та іншими підприємствами, задіяними у сфері гірничодобувної промисловості.

Особливий внесок магістра полягає у:

- виборі методів досліджень і технологій реалізації;
- створення інтерфейсу автоматизованої системи управління, що реалізує механізми управління оптимального керування;
- розробці теоретичної частини роботи, в якій досліджені і систематизовані знання про існуючі підходи систем керування автоматизованими системами кускового дроблення руд.

Апробація результатів магістерської роботи:

Основні положення і результати магістерської роботи були покладені в основу тезису та обговорені на студентській науковій конференції.

Структура та обсяг роботи. Робота складається з вступу, чотирьох розділів і висновків. Містить 93 сторінки друкованого тексту, в тому числі 44 сторінки тексту основної частини з 13 рисунками, список використаних джерел з 58 найменуваннями на 4 сторінках, 4 додатки на 10 сторінках.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСАМИ ДРОБЛЕННЯ І ЗДРІБНЮВАННЯ

1.1. Технології дроблення і здрібнювання

Технологія переробки руди на сучасному гірничозбагачувальному комбінаті (ГЗК) включає [5-10] (рис. 1.1):

- видобуток гірської маси й доставку її на збагачувальну фабрику;
- крупне, середнє й дрібне дроблення;
- здрібнювання гірської маси до розкриття мінералів;
- поділ здрібненого продукту на концентрат і хвости за допомогою магнітної сепарації, флотації, гравітації тощо;
- відвантаження концентратів і складування хвостів.

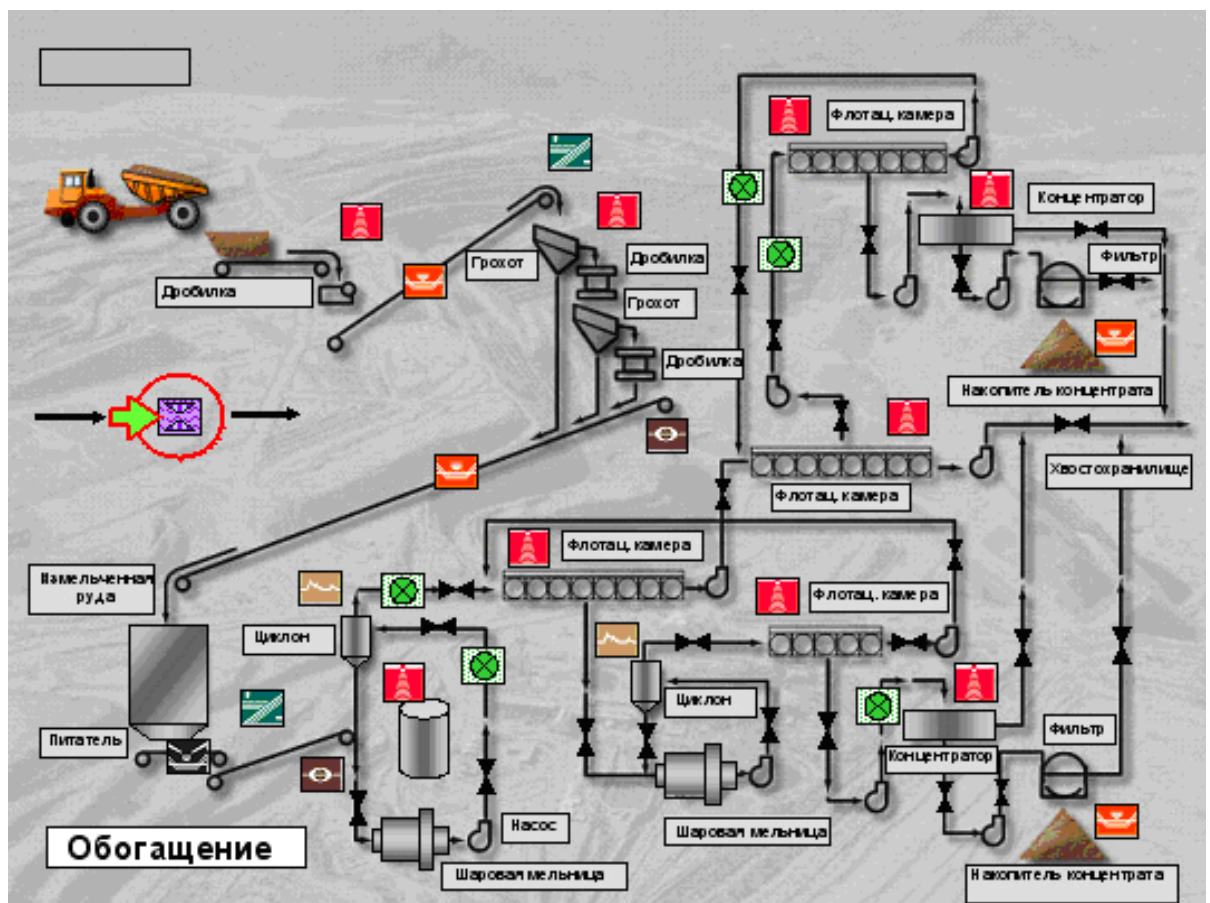


Рис.1.1. Схема переробки руди

Рудопідготовка призначена для підготовки руди до наступних переділів збагачення. Вона містить у собі процеси дроблення, здрібнювання, класифікації, транспортування тощо (див. рис. 1.1).

При кульовім і стрижневім здрібнюванні використовується технологія багатостадійного дроблення.

На початку 70-х років ХХ століття почалося освоєння технології самоздрібнювання (рис. 1.2) магнетитових кварцитів на Інгулецькому і Північному ГЗК.

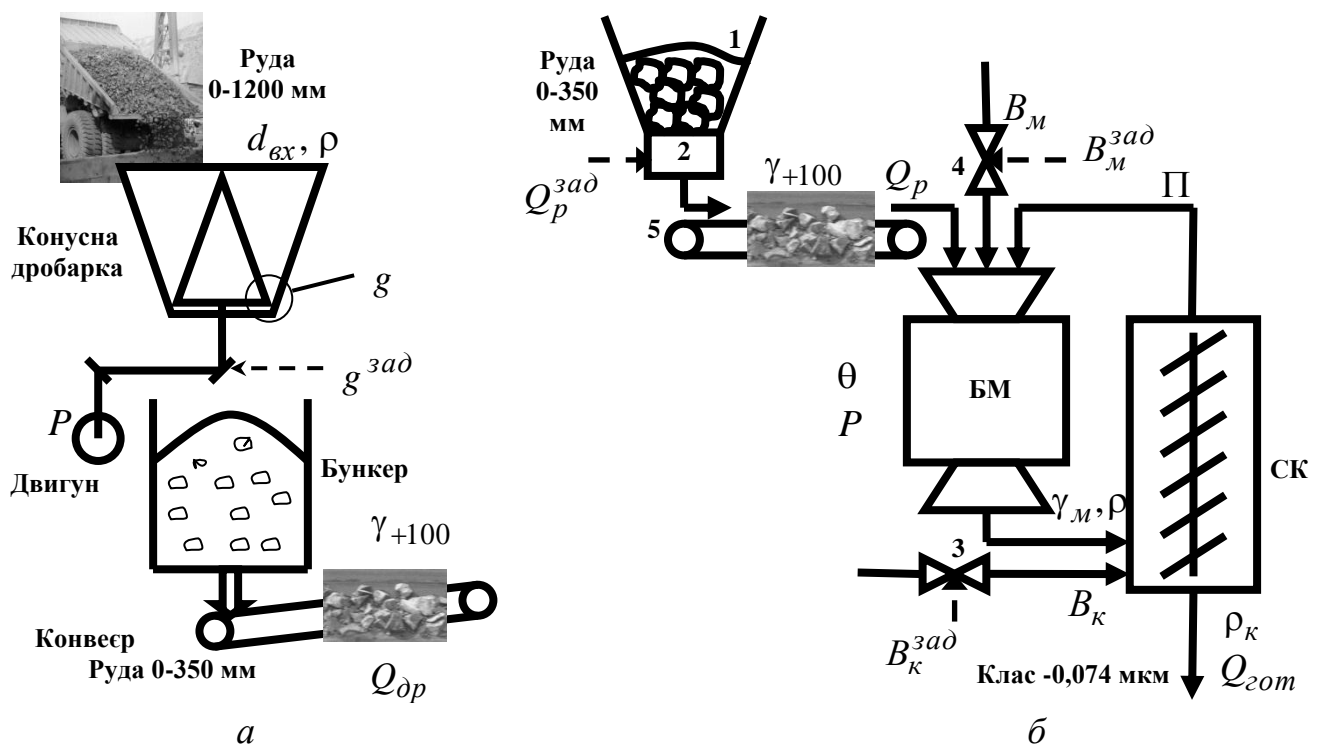


Рис. 1.2. Технологічні схеми процесів крупного дроблення

Особливістю цієї технології є наявність лише однієї стадії дроблення – крупного дроблення (див. рис. 1.2.а). Це дозволило знизити капітальні витрати на будівництво підприємств на 20%, але при цьому на 20% збільшилася питома витрата електроенергії.

Дроблена руда в I стадії (рис. 1.2.б) подрібнюється в барабанних млинах (БМ) обсягом від 22 до 140 м³. Млини в I стадії здрібнювання, як правило, працюють у замкненому циклі зі спіральними класифікаторами (СК), а в II і III стадіях – у замкненому циклі з гідроциклонами діаметром від 250 мм до 710 мм. Питома продуктивність млинів I стадії по вхідній руді коливається від 3,15 до 6,5 т/м³·год [5, 8].

В II стадії здрібнювання питома продуктивність млинів по готовому класу змінюється від 0,64 до 1,1 т/м³·год, а в III стадії здрібнювання від 0,21 до

0,913 т/м³·год. Питома продуктивність по готовому класу залежить від речовинного складу перероблюваної сировини, складу кулькового завантаження, обсягу млина та потрібної крупності здрібнювання по готовому класу.

При ступені здрібнювання до 65 % змісту класу -0,074 мм із цих залізних руд можна одержати магнетито-гематитовий концентрат із вмістом заліза 65 % при витягу 70 %. Витрати електроенергії становлять близько 10 кВт·год/т при здрібнюванні до 65 % класу -0,074 мм і біля 20 кВт·год/т – при здрібнювання від 65 % до 99 % класу -0,074мм.

Процес крупного дроблення (ККД) на ГЗК здійснюється, зазвичай, у конусних дробарках ККД-1500 (рис. 1.2.а). Руда з кар'єру крупністю 0-1200 мм доставляється автосамоскидами або самоперекидними вагонами (думпкарами) вантажопідйомністю від 105 до 140 т.

Дроблена руда крупністю 0-350 мм через бункер під дробаркою за допомогою пластинчастих живильників надходить на конвеєр. Далі системою конвеєрів крупнодроблена руда подається в прийомні бункери збагачувальної фабрики й за допомогою катучих конвеєрів (автостел) надходить у бункери технологічних секцій самоздрібнювання.

Процес мокрого самоздрібнювання (МСЗ) в I стадії здійснюється в барабанних млинах мокрого самоздрібнювання (рис. 1.2.б) ММС 70х23 (або ММС 90х30) об'ємом 80 (160) м³ і продуктивністю 120 (250) т/годину, які працюють із СК у зворотному зв'язку.

Крупнодроблена руда (див. рис. 1.2.б) крупністю 0-350 мм із бункера 1 технологічної секції самоздрібнювання через живильник 2 надходить за допомогою конвеєра 3 у БМ. Розвантаження БМ відповідного гранулометричного складу γ_m й густини ρ_m надходить у ванну СК, з якої готовий клас (крупністю – 0,074 мкм) йде на злив, а крупні класи (піски V_m) за допомогою СК повертаються в БМ.

Регулювання режимів роботи процесу МСЗ здійснюється за допомогою живильника 2 подачі руди ($B_K^{зad}$), вентиля 4 подачі води в БМ (Q_p) і вентиля 5 подачі води у ванну СК (B_M).

В цілому слід зазначити, що технології, застосовувані на сучасних залізорудних комбінатах далекі від досконалості: якість залізорудної сировини по змісту заліза й кремнезему недостатньо відповідає сучасним вимогам металургів; витрата електроенергії на 1 т концентрату в 1,4–1,5 рази вище, ніж на аналогічних підприємствах за кордоном [12].

Витрати на технологічні процеси переробки руди становлять: дроблення і здрібнювання – 51,0–51,5 %; перекачування хвостів – 22,0–24,0 %; магнітна сепарація – 10,0–11,0 %; зневоднювання концентрату – 6,5–8,0 %.

Оскільки з рудопідготовкою пов'язані й основні витрати (до 85–87%) на електроенергію [4], то головним напрямком підвищення рентабельності діючих ГЗК є підвищення ефективності роботи переділів дроблення й здрібнювання, що дозволить зменшити витрати електроенергії й інших ресурсів.

1.2. Аналіз існуючих систем автоматичного керування та засобів контролю процесами дроблення і здрібнювання

1.2.1. Процеси дроблення і здрібнювання як об'єкти керування

Технологічний принцип керування процесами дроблення і здрібнювання полягає у максимізації швидкості скорочення класів руди, крупніших за граничне зерно в кінцевому продукті і мінімізації швидкості для класів, дрібніших від граничного зерна. Отже, дроблення і здрібнювання повинні вести до збільшення готового класу і стрибкоподібності функції вмісту (поділу).

Основними вихідними змінними процесу дроблення в конусних дробарках (КД), представленого на рис. 1.3.a (див. також рис. 1.2.a), є гранулометричний склад дробленого продукту $Y_{вих}$, продуктивність процесу $Q_{др}$ і споживана потужність $P_{др}$. Його керуючими впливами є продуктивність рудного постачання $Q_{вх}$, розмір розвантажувальної щілини дробарки і частота

хитань її рухливого конусу ν , а збуреннями – гранулометричний склад вхідної руди $\gamma_{вх}$ та її міцність ρ , стан футеровок ζ тощо [14-19].

Для процесу здрібнювання в барабанних млинах (БМ), представленого на рис. 1.3.б (див. також рис. 1.2.б), вихідними змінними є вміст готового класу крупності у вихідному продукті $\gamma_{м}$, продуктивність по готовому класу $Q_{гот}$ і споживана потужність $P_{м}$. Його керуючими впливами є продуктивність по вхідній руді $Q_{р}$, витрати води $B_{м}$ та куль Ш, а збуреннями – гранулометричний склад вхідної руди $\gamma_{р}$, її фізико-механічні і речовинні властивості ζ , витрата пісків П, стан футеровок і ліфтерів ζ тощо [14-21]. Для процесу самоздрібнювання наразі у якості проміжної вихідної змінної додатково використовують ступінь внутрішньомлинового заповнення θ [14, 16, 21].

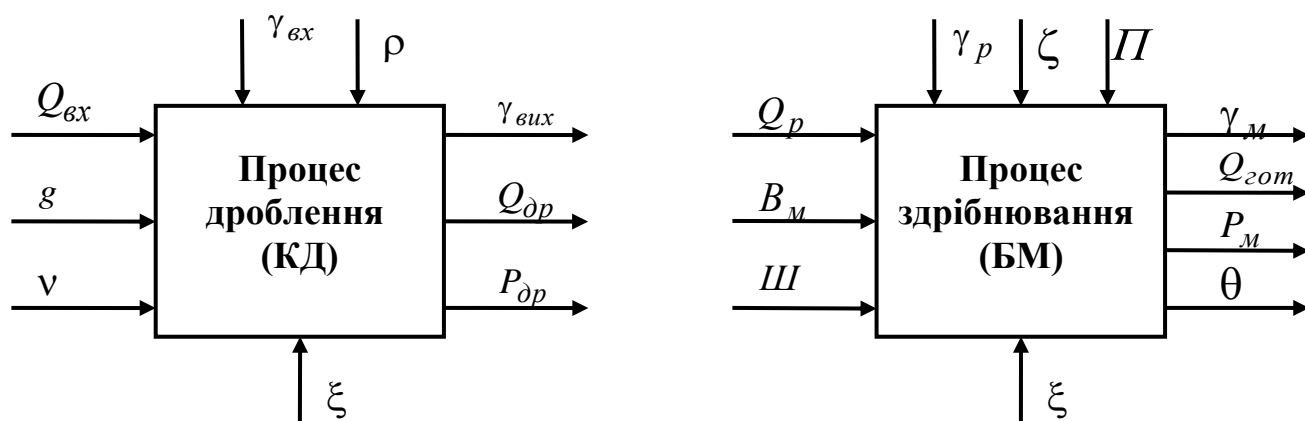


Рис. 1.3. Процеси дроблення в конусних дробарках (а)

і здрібнювання в барабанних млинах (б) як об'єкти керування

Оскільки рудопідготовка відноситься до підготовчих процесів, то для їх керування використовують технологічні критерії [4, 14, 22-24].

Як елемент технологічного циклу процес дроблення виконує дві функції: дроблення й транспортування руди. Продуктивність процесу дроблення в значній мірі залежить від властивостей руди, що дробиться (крупності, міцності тощо), тому при проектуванні збагачувальних фабрик дробильне встаткування вибирають із великим запасом по продуктивності, а режими дроблення на

діючих ГЗК Кривбасу встановлюють виходячи з найважчих умов [6, 9-11]. Це приводить до того, що ефективність використання дробильного встаткування по продуктивності на гірничих підприємствах становить 50-60%, а тривалість можливої зупинки дробильного відділення при працюючому здрібнювальному відділенні на ГЗК по переробці магнетитових кварцитів становить до 10 і більш годин у добу [23].

Розглянуті особливості гірничих підприємств забезпечують гарні умови для узгодження процесів дроблення й здрібнювання без необхідності досягнення максимально можливої продуктивності процесу дроблення. Вибір зниження енерговитрат процесу дроблення як цілі керування також нераціональний, оскільки енерговитрати процесу дроблення значно нижче енерговитрат наступного процесу здрібнювання [4, 5, 9, 11].

Тоді керування процесом крупного дроблення доцільно здійснювати по якісному показнику [15, 23, 24], наприклад, шляхом мінімізації різниці між поточним $\gamma_{вих}$ і заданим $\gamma_{вих}^{зад}$ гранулометричними складами продукту дроблення

$$\|\gamma_{вих} - \gamma_{вих}^{зад}\| \rightarrow \min \quad (1.1)$$

при обмеженнях на припустимі потужність $P_{др} \leq P_{др \max}$ і продуктивність $Q_{др} \geq Q_{др \min}$. При цьому, заданий гранулометричний склад $\gamma_{вих}^{зад}$ відповідає максимальній продуктивності по вхідній руді наступного в технологічній лінії процесу самоздрібнювання.

Для технологічного ж процесу здрібнювання керування необхідно здійснювати з метою максимізації продуктивності по готовому класу

$$Q_{гот} \rightarrow \max \quad (1.2)$$

при обмеженнях на припустиму потужність $P_{и} \leq P_{и \max}$, що відповідає мінімізації експлуатаційних витрат технологічної лінії збагачення [7, 14, 17-19, 21, 25, 26].

Процеси дроблення й здрібнювання є складними динамічними об'єктами керування (ОК) з нестационарними параметрами, нелінійними залежностями й стохастичними змінними, які мають значні транспортні запізнювання [1, 2], що характеризує їхню істотну невизначеність [14-21, 24, 27-40].

Крім того, ці процеси дуже чутливі до якості руди. Наприклад, крупність продукту дроблення процесу ККД до крупності вхідної руди перевершує його чутливість до керування (ширини щілини дробарки) [31], а для процесу МСЗ гранулометричний склад (вміст класу +100 мм) вхідної руди суттєво впливає на ефективне значення внутрішньомлинового заповнення [40].

Динамічні властивості процесу дроблення по каналах $Y_{\text{вх}} - Q_{\text{др}}$, $P - Y_{\text{вих}}$ і $g - P_{\text{др}}$ приблизно представляються передатною функцією аперіодичної ланки першого порядку із запізнюванням [14-19, 24, 37]:

$$W_1 = \frac{k_2}{T_1 p + 1} \cdot e^{-p\tau_1} \quad (1.3)$$

а по каналу $Q_{\text{вх}} - Q_{\text{др}}$ – аперіодичною ланкою другого порядку із запізнюванням [14, 24, 27, 37-39]:

$$W_2 = \frac{k_2}{T_2^2 p^2 + 2\eta T_2 + 1} \cdot e^{-p\tau_2} \quad (1.4)$$

де k_1, k_2 - коефіцієнти підсилення; T_1, T_2 - постійні часу; τ_1, τ_2 - запізнювання; η - декремент загасання; p - оператор Лапласа.

Час запізнювання визначається часом проходження руди між точками її контролю на вході й виході процесу, а постійна часу характеризується глибиною змішування руди різної якості при дробленні. При цьому час запізнювання й постійні часу є нестационарними, їх величина, у загальному випадку, залежить від продуктивності рудного постачання, гранулометричного

складу вхідної руди, її фізико-механічних властивостей і ширини розвантажувальної щілини дробарки [16, 27].

Так, у роботі [31] отримане прогнозує нелінійне кінцево-різницеve рівняння процесу крупнокускового дроблення у вигляді:

$$\gamma_{\text{вих}}[k + 1] = c_0 + (c_1 + c_7 \cdot \gamma_{\text{вх}}[k] \cdot \rho[k]) \cdot \gamma_{\text{вих}}[k] - c_2 \cdot \gamma_{\text{вих}}[k - 1] + \\ + c_3 \cdot g[k + 1] + c_4 \cdot \gamma_{\text{вх}}[k] + c_5 \cdot \rho[k] + c_6 \cdot \gamma_{\text{вх}}[k] \cdot g[k]$$

де k - такт часу; c_0, \dots, c_7 - коефіцієнти; $\gamma_{\text{вих}}$ - вміст класу +100 мм у дробленій руді; $\gamma_{\text{вх}}$ - середньозважена крупність вхідної руди.

Це рівняння еквівалентне рівнянню (1.4) по каналу $g - \gamma_{\text{вих}}$, в якому параметри T_2 й η неінваріантні до крупності й міцності вхідної руди (для умов Лебединського ГЗК параметри змінюються в межах: $T_2 = 38,4..41,2$ с і $\eta = 0,39..0,57$). При цьому чутливість $\gamma_{\text{вих}}$ до збурень $\gamma_{\text{вх}}$, ρ перевищує його чутливість до керування g .

Динамічні властивості процесу здрібнювання при регулюванні внутрішньомлинового заповнення θ приблизно визначаються у вигляді передатної функції (1.3) [14, 16-21, 26]. При цьому для млинів самоздрібнювання ММС 90х30А в умовах Північного ГЗК еквівалентні постійні часу й запізнювання по каналу $Q_p - \theta$ становлять $T_1 = 13$ хвилин і $\tau_1 = 2,5$ хвилин, а по каналу $\gamma_p - \theta$ - $T_1 = 34$ хвилин і $\tau_1 = 4,2$ хвилин [40].

Динамічні властивості БМ по каналах $Q_p(B_M) - Q_{\text{зот}}(P_M)$ приблизно представляються у вигляді послідовно з'єднаних динамічної ланки (1.3) і безінерційної нелінійної (квадратичної) ланки ($\uparrow 2$) [14, 16, 21, 26], що наведені на рис. 1.4.

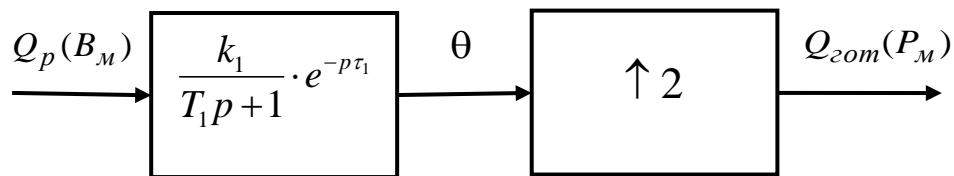


Рис. 1.4. Динамічна модель барабанного млина

У роботах [41-43] розглянуті динамічні моделі процесів дроблення й здрібнювання, засновані на моделі ідеального змішування (матрична модель Лінча А.Дж. [15]). Кінетика в дробарках і млинах описується рівняннями першого порядку, що зв'язують продукт руйнування з постачанням.

Ці динамічні моделі не враховують конструктивних особливостей апаратів (профіль камери руйнування, рівень матеріалу в ній, частоту обертання тощо) і, внаслідок цього, не дозволяють достатньо точно описати перехідні режими.

Більш досконалою, що враховує конструктивні й технологічні особливості конкретного дробильного апарату, є тактово-імітаційна модель процесу дроблення [44, 45]. Ця модель припускає, що процес дроблення в цілому представляє послідовну дію елементарних процесів, які відбуваються на різних (по напрямках транспортування матеріалу) ділянках камери дроблення. При цьому поняття матриць руйнування й класифікації використовуються стосовно до елементарних камер, що дозволяє представити запас матеріалу в кожній камері перед поточним тактом дроблення (періодом хитань рухливого конуса).

Розвитком моделей [15] є також моделі простору станів [46, 47], що описують динаміку процесів дроблення, здрібнювання й класифікації.

Процеси дроблення в КД і здрібнювання в БМ спрощено можуть бути також представлені за допомогою нелінійного відображення Ено (Henon), що описує рух частинок в умовах тертя й імпульсних впливів (зіткнень) [48, 49], а також – ротатор зі збудженням [50-51]:

$$x_1[k + 1] = 1 - ax_1^2[k] - bx_2[k]; x_2[k + 1] = x_1[k] \quad (1.5)$$

де a, b – параметри порядку $\lambda = \{a, b\}$; x_1, x_2 – координати; k – такт часу.

Параметр a характеризує просторовий розподіл взаємодії (зіткнення) частинок, а параметр b – загасання в системі. Він обернено пропорційний коефіцієнту тертя (реальними є значення $b > 0$).

Іншими моделями процесів дроблення і здрібнювання є нелінійні дисипативні осцилятори із силовим чи параметричним збудженнями [48, 52-54]:

$$\ddot{x} + r\dot{x} + f(x) = a \sin\omega t \quad (1.6)$$

$$\ddot{x} + r\dot{x} + (1 + a \sin\omega t)f(x) = 0 \quad (1.7)$$

де r – коефіцієнт тертя; a, ω – амплітуда і частота збудження; $f(x)$ – зворотна сила.

Процеси дроблення і здрібнювання мають фрактальний характер [55-59], оскільки їх функції руйнування (відповідно до модифікованого рівняння Розина-Раммлера [15]) не залежать від крупності частинок, що руйнуються. Внаслідок цього процеси руйнування частинок подібні на різних масштабах крупності.

Інваріантні різноманіття, що властиві розглянутим системам, являють собою функції руху, які не змінюються в силу законів збереження. У механіці, наприклад, такі функції називають інтегралами руху. Для процесів здрібнювання такі режими (атрактори) досліджені в роботах [52, 53]. У них на основі аналізу рівнянь Мат'є і діаграм стійких рішень Айнса-Стретта (часткових випадків рівняння (1.7) [60, 61]) розглянуті параметричні резонанси внутрімлинових завантажень й обґрунтовані ефективні технологічні режими і способи керування здрібнюванням.

Сигнали (часові ряди), породжувані процесами дроблення й здрібнювання, являють собою полігармонійні (наприклад, сигнали активної потужності приводних двигунів дробарок і млинів [14, 16, 62-64]) і смугові (наприклад, часові функції збудувань і регульованих величин [20, 31, 65]) авторегресійні (зі спадаючими автокореляційними функціями) сигнали, як правило, з нормальною функцією розподілу [20, 32, 65].

1.2.2. Системи керування процесами дроблення і здрібнювання

При автоматизації керування процесом дроблення використовуються наступні принципи [14, 16-19, 24, 66-68]:

- підвищення продуктивності при забезпеченні гранулометричного складу продукту дроблення на рівні заданого значення;
- зниження енерговитрат при забезпеченні гранулометричного складу продукту дроблення й продуктивності на рівні заданого значення;
- забезпечення заданого гранулометричного складу продукту дроблення за підтримки продуктивності на рівні не нижче припустимого значення.

Очевидно, що ціль керування процесом дроблення повинна обиратися виходячи з ефективності всього циклу рудопідготовки.

У роботі [52] запропонована система автоматичного керування (САК) процесом дроблення підвищеної якості. Ця система містить датчик витрат матеріалу, що надходить на дроблення, регулятор продуктивності живильника, датчик потужності, споживаної приводом дробарки, лічильник мотогодин, регулятор ширини розвантажувальної щілини дробарки, датчик крупності матеріалу, що дробиться, блок вибору критеріїв.

У ній враховується вплив неконтрольованих збурювань на процес дроблення й забезпечується адаптація регулювальних характеристик систем до змін властивостей матеріалу, що дробиться, і параметрів технологічного процесу, що дозволяє підвищити якість керування й скоротити енерговитрати при дробленні матеріалу.

До недоліків цієї системи слід віднести відсутність безпосереднього контролю збурювань, що не дозволяє забезпечувати високу якість керування.

У роботі [47] запропонована система автоматичної оптимізації процесу крупнокускового дроблення, що включає датчики контролю ширини розвантажувальної щілини дробарки ККД-1500/180, а також крупності й

міцності її вхідної руди. Метою керування є оптимізація вмісту класу +100 мм у дробленій руді, контрольованому за допомогою потокового гранулометра.

Синтез оптимального керування шириною розвантажувальної щілини здійснюється на основі прогнозуючої моделі процесу у вигляді кінцево-різницевого рівняння, параметри якого можуть адаптуватися в ході роботи системи.

Недоліком цієї системи є невисока точність, обумовлена похибками використовуваної моделі й датчиків контролю.

Прикладом комплексного підходу до рішення завдання оптимального керування технологічним процесом дроблення з використанням автоматизованого керування, як самим процесом дроблення, так і комплексом технологічних агрегатів, що забезпечують даний процес (дробаркою, конвеєром подачі руди, гуркотом тощо), є автоматизована система керування (АСУ) дробарками КМД-3000Т2ДДП і КСД-2200Т2-Д, реалізованої на базі мікропроцесорних засобів фірми «Siemens» і впровадженої на СП «Ерденет» (Монголія) [71].

Автоматичне регулювання завантаженням дробарки (робота в оптимальному режимі завантаження головного приводу) реалізується за рахунок керування подачею матеріалу у функції струму двигуна головного приводу. Метою керування є досягнення максимально можливої продуктивності при умовах підтримки заданого значення величини струму двигуна головного приводу при певному встановленому розмірі розвантажувальної щілини.

Вигляд інтерфейсу АСУ дробарками середнього й дрібного дроблення наведена на рис. 1.5.

Недоліком цієї АСУ є її неінваріантність до цілей керування. Наприклад, неможливо з її допомогою організувати керування гранулометричним складом продукту дроблення.

Стосовно до здрібнювального комплексу млин-класифікатор ефективність керування також визначається якістю інформації про його

технологічні параметри (продуктивності й властивостях вхідного постачання, ступені заповнення млина пульпою й циркуляційного навантаження, щільності зливу й гранулометричного складу вхідної руди і готового продукту тощо).

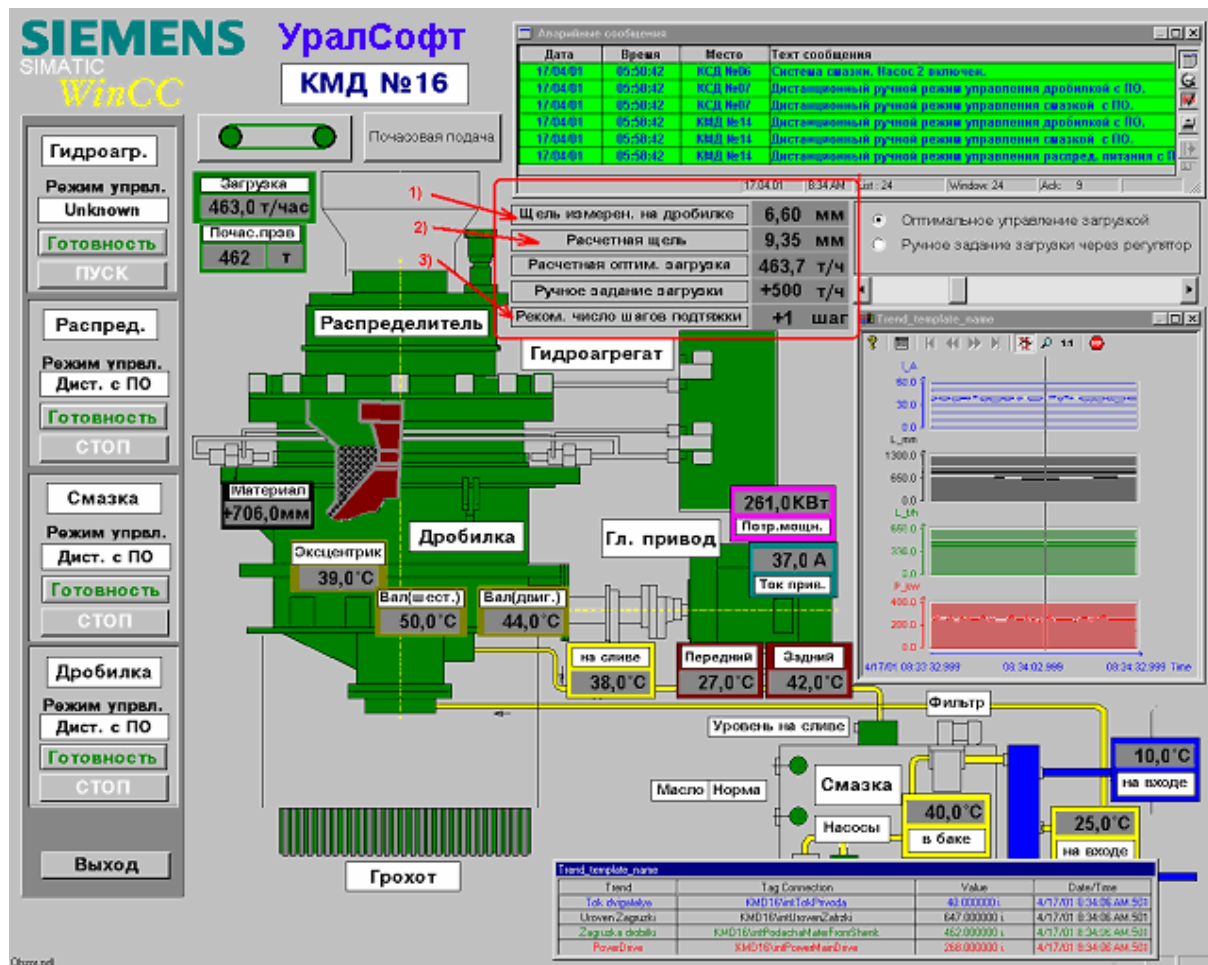


Рис.1.5. Інтерфейс АСУ дробарки «УралСофт»

Розробка автоматичних засобів їх контролю є важливою частиною інформаційного забезпечення систем керування.

Властивості вхідного постачання відносять до класу збурювань через складність керування ними. Звичайно вони змінюються в широких межах випадковим чином і негативно позначаються на показниках усього переділу. Спроби стабілізації вхідного постачання шляхом впровадження систем усереднення вхідної руди широкого застосування не знайшли, хоча зміна її крупності й механічних властивостей при стабільній продуктивності змінюють ступінь заповнення млина, що змінює циркулююче навантаження й щільність зливу. Розробка систем оперативного автоматичного контролю фізико-

механічних властивостей вхідної руди скрутна, тому на практиці знаходять застосування системи непрямой оцінки властивостей постачання (по циркулюючому навантаженню, щільності зливу класифікуючого апарату тощо) з корекцією продуктивності постачання або ступеня заповнення [14-21, 29].

Продуктивність по вхідному постачанню є основним керуючим впливом. Цей параметр легко керований і досить точно вимірюваний (1 %) конвеєрними вагами. Їхній сигнал використовується для стабілізації відносини твердого до рідкого (Т:Ж) на вході млина. Поширені й системи стабілізації продуктивності по вхідній продуктивності з контролем заповнення млинів [21, 40, 72], хоча зміни гранулометричного складу й фізико-механічних властивостей постачання призводять до коливань продуктивності і якості готового продукту. Частіше продуктивність по вхідному постачанню регулюють.

Ступінь заповнення млина пульпою багато в чому визначає її продуктивність по готовому продукту. А тому будь-яка зміна властивостей постачання відбивається на заповненні млина, тоді при самоздрібнюванні його регулюють зміною потоку вхідної руди, а в рудно-галькових млинах — рудної гальки. Оцінюють ступінь заповнення найчастіше за допомогою контролю акустичного сигналу, видаваного млином, або середньої потужності приводного електродвигуна. Іноді використовують шум млина й середню потужність двигуна [21, 29].

Циркулююче навантаження (піски) чутливе до змін властивостей вхідного постачання й умов поділу часток по крупності при класифікації. У системах керування інформацію про піщане навантаження використовують для стабілізації Т:Ж на вході млина або корекції завдання по ступеню заповнення при зміні властивостей постачання. Для контролю циркулюючого навантаження вимірюють струм або потужність двигуна класифікатора. Основним недоліком такого контролю є сильний вплив стану тертьових поверхонь силової передачі, зашламованості постілі транспортуючого органу. Більшою точністю відрізняється спосіб контролю інтенсивності коливань активної потужності двигуна на певній частоті. Цей метод застосовується на

Лебединському ГЗК й забезпечує похибку вимірів до 10 %. Знаходить застосування й метод безперервного зважування ринви, по якій транспортуються піски [14, 18, 26, 63, 73].

Щільність зливу агрегату, що класифікує, впливає на ефективність магнітної сепарації й дозволяє побічно судити про крупність здрібненого продукту. Регулюється (частіше стабілізується) цей параметр подачею води в класифікатор.

Гранулометричний склад готового продукту (зливу класифікуючого агрегату) є показником ефективності здрібнювального комплексу. Оперативна інформація про гранулометричний склад зливу використовується в системах керування по відхиленню, керуючим впливом у яких є подача води в апарат, що класифікує, або регулювання вхідного постачання [29].

У результаті аналізу принципів побудови систем автоматичного керування млинами й комплексами на їхній основі виділимо наступні системи й методи:

- використання при керуванні регресійних статичних залежностей;
- пошукові системи з безпосереднім виміром характеристик готової продукції;
- системи керування контуром регулювання ступені внутрішньомлинового заповнення;
- екстремальні системи керування по середній потужності двигуна й шуму млина;
- адаптивні системи на основі структурних моделей ОК з параметричною ідентифікацією в процесі керування.

Метод керування по регресійних рівняннях полягає в підтримці факторів (доступних для виміру й цілеспрямованої зміни) на рівні, що забезпечує (відповідно до отриманих залежностей) максимальне значення показника якості в припущенні, що неконтрольовані фактори мають статистично середні значення. Недоліки підходу пов'язані із сильним впливом на показник ефективності збурень і нестационарності статичних залежностей, обумовленої

спрацюванням устаткування й зміною властивостей постачання. В результаті подібні системи протягом тривалого часу стабілізують режими роботи встаткування, далекі від оптимальних.

У пошукових системах з безпосереднім виміром характеристик готової продукції ОК представляється «чорним ящиком», а пошук оптимуму ведеться безперервно у квазістатичному режимі. Такі системи недостатньо ефективні, оскільки для здрібнювального агрегату вміст готового класу в зливні класифікатора не завжди є об'єктивним критерієм ефективності, особливо коли вхідний потік матеріалу в млин містить значний відсоток розрахункового класу, а його коливання значні.

Підтримка співвідношення Т:Ж шляхом регулювання подачі води в млин поліпшує режими здрібнювання, стабілізує щільнісні режими в млині на заданому рівні, деякою мірою стабілізуючи умови здрібнювання. Однак при роботі млина в замкненому циклі стабілізація щільнісних режимів порушується через коливання циркуляційного навантаження. Обмеженість такого підходу полягає в тому, що залежно від якості поточної руди для оптимізації процесу повинні змінюватися також і щільнісні режими.

Стабілізація щільності зливу класифікуючого апарату дозволяє підтримати необхідні щільнісні режими подальших стадій збагачення. Але досить часто введення цього контуру має на меті в першу чергу застабілізувати гранулометричний склад зливу класифікатора, яка опирається на те, що для гідравлічної класифікації вихід готового класу тим вище, чим нижче густина пульпи [29].

Труднощі виникають і через порівнянність інерційності ОК зі швидкістю зміни збурень, що робить системи керування по відхиленню неефективними. Так БМ і класифікатор як один ОК досить інерційні (перехідні процеси при східчастому впливі й час спаду автокореляційної функції збурювань приходять до значення, що встановилося, за десятки хвилин), а тому керування по відхиленню неефективно. До того ж компенсувати збурення складно через відсутність датчиків контролю властивостей вхідного постачання. У зв'язку із

цим при автоматизації здрібнювання використовують параметри, що відбивають енергетичну ефективність процесу руйнування — ступінь заповнення барабана, середню потужність, споживану приводним двигуном млина, та її шум.

Середню потужність двигуна й шум використовують як критерій автоматичної оптимізації в екстремальних системах, що підтримують робочу точку на статичній характеристиці середньої потужності або інтенсивність акустичного сигналу у функції заповнення поблизу екстремуму. Керуючим впливом є потік вхідного матеріалу в млин. У промисловості такі системи широкого застосування не знайшли, тому що максимум продуктивності по готовому не відповідає робочій точці в області екстремуму. У зв'язку із цим проблему автоматичної оптимізації рудопідготовки вирішують шляхом компенсації збурень, вхідного постачання або пошуком і обґрунтуванням параметрів, що піддаються автоматичному контролю і безпосередньо характеризують енергетичну ефективність процесу руйнування матеріалу в барабані млина [40, 73-76].

Поява адаптивних систем, заснованих на структурних моделях ОК й виконуючих параметричну ідентифікацію в процесі керування зі складними алгоритмами переробки інформації в керуючій частині, викликане розвитком сучасних засобів обчислювальної техніки. Підхід не виключає труднощів створення пристроїв автоматичного контролю показника ефективності роботи системи й необхідності забезпечення стабільності вхідного постачання, однак використання оперативних даних про внутрішній стан об'єкта й апріорної інформації про закономірності здрібнювання в комбінації із сучасними методами адаптивної ідентифікації й керування є найбільш перспективним підходом, який затим базується на контролі змінних стану ОК [34-36, 72, 77-80].

Недоліком існуючих адаптивних систем є використання лінійних моделей для прогнозу нелінійних процесів здрібнювання, а також неоптимальність керування.

Прикладом автоматизації лінії магнітного збагачення залізних руд є АСУ ТП рудозбагачувальної фабрики №1 (РЗФ-1) на Інгулецькому ГЗК [81].

Існуюча система не дозволяла мати повний контроль над станом технологічного процесу й устаткуванням секції та не забезпечувала автоматизоване керування процесом збагачення із реалізацією раціональних режимів технології, фізично й морально застаріла.

В результаті спільної діяльності фахівців Інгулецького ГЗК, фірми «Комплексні Технологічні Системи» («КТС») і ЗАТ НДІАчермет були розроблені й виконані техніко-економічне обґрунтування, технічне завдання й проект першої черги АСУ ТП технологічної секції збагачення РЗФ-1, що наведена на рис. 1.6.

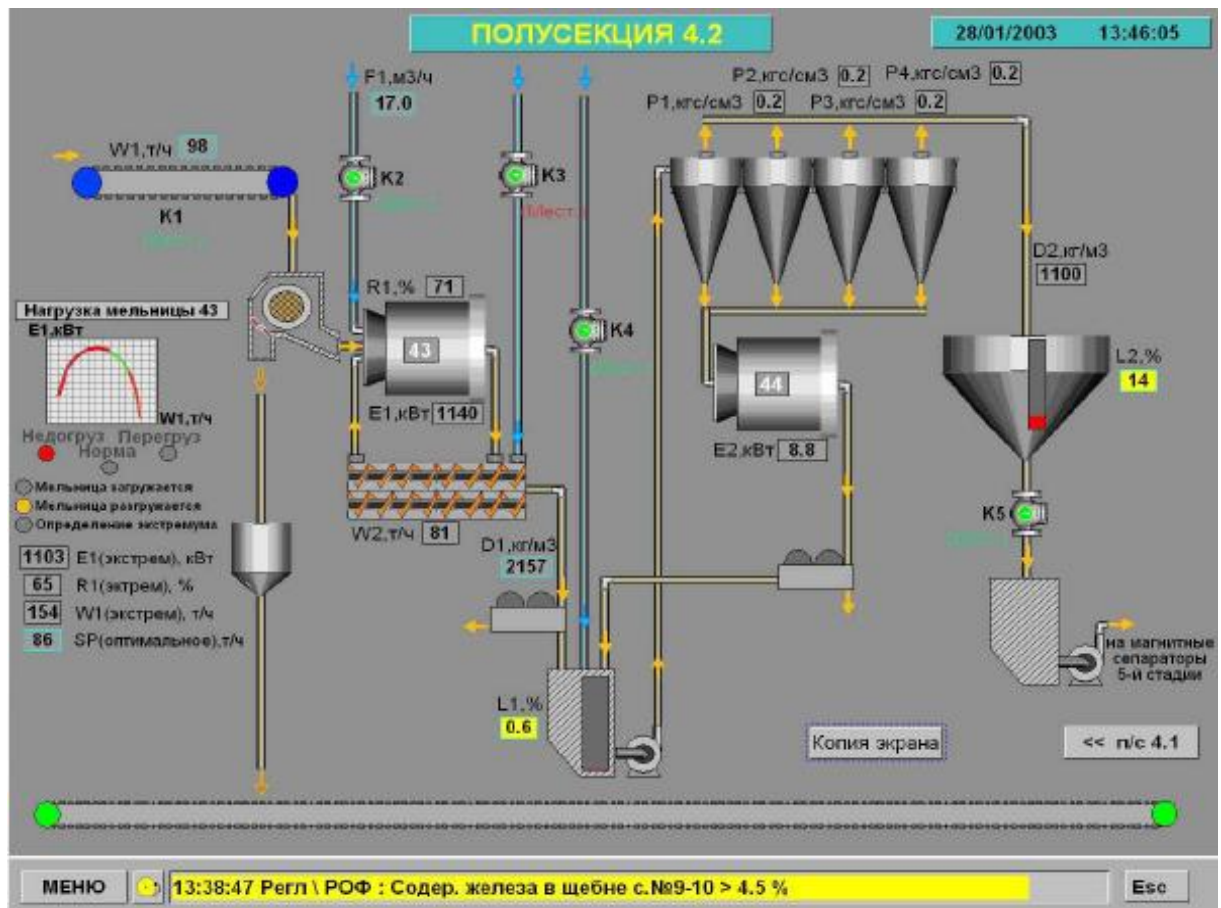


Рис. 1.6. Структура першої черги АСУ ТП секції збагачення

Автоматичне регулювання технологічних параметрів відповідно до технологічного регламенту досягається реалізованими в системі локальними системами автоматичного керування й регулювання:

- масових витрат вхідної руди, що подається в млини першої стадії, з урахуванням циркуляційних навантажень;
- об'ємних витрат води в млини перших стадій з урахуванням необхідних співвідношень Т:Ж;
- щільностей пульп зливів спіральних класифікаторів;
- рівнів пульп у технологічних зумпфах;
- тисків потоків пульп на вході в гідроциклони;
- рівнів магнетиту в дешламаторах.

Вибір раціональних режимів ведення технологічних процесів першої стадії здрібнювання передбачає статичну оптимізацію процесу здрібнювання.

До недоліків цієї АСУ ТП слід віднести реалізацію тільки статичної оптимізації процесом здрібнювання, що приводить до втрат у динамічних (перехідних) режимах.

ВАТ «Північний ГЗК» завершив першу чергу АСУ ТП секцій збагачення руди, розробленої на базі SCADA-системи TRACE MODE 6.

Основні функції цієї АСУ ТП збагачення руди включають:

- автоматизоване й автоматичне керування процесами самоздрібнювання й кульового здрібнювання;
- автоматичне керування завантаженням млинів;
- керування подачею води в млини, класифікатори й зумпфи;
- використання математичної моделі процесу для вибору оптимальних режимів роботи агрегатів;
- моніторинг стану агрегатів.

Наразі в промислову експлуатацію здана перша черга системи, що включає контури стабілізації подачі руди в млин і води в зумпфи.

Недоліком такої АСУ ТП є неефективність реалізації лінійних законів регулювання нелінійним нестационарним процесом здрібнювання.

Для автоматичного регулювання й керування технологічним переділом нової секції збагачувальної фабрики Стойленського ГЗК (м. Старий Оскол,

Росія) розроблений проект автоматизованої системи керування технологічним процесом і автоматизованої системи диспетчерського керування (АСДК) [83].

Розроблена АСУ ТП секції № 4 забезпечує вимір параметрів технологічного процесу:

- вага руди, що подається в млини I стадії;
- тиск виробничої води;
- тиск води в магістралі гідростиснення насосів;
- тиск пульпи на гідроциклонах;
- щільність пульпи на зливні класифікаторів і гідроциклонів;
- витрата води, що надходить у млини й бутару млинів I стадії;
- контроль об'ємного заповнення млинів рудою;

В цій АСУ ТП реалізовані системи автоматичного регулювання (САР):

- САР завантаження млинів I стадії по вазі;
- САР співвідношення Т:Ж млинів I стадії;
- САР щільності зливу класифікаторів млинів I стадії;
- САР подачі води в млини I і II стадії по об'ємним заповненню й потужності синхронного двигуна.

Недоліком цієї АСУ ТП є відсутність контролю гранулометричного складу вхідної руди, а також відсутність оптимізації режимів роботи процесу дрібнювання.

1.2.3. Засоби контролю процесів дроблення і дрібнювання

Прямі методи і засоби контролю [13, 44-48] властивостей руди, що переробляється, вимагають значних витрат ручної праці і малопродуктивні, а розробка на їхній основі автоматичних засобів контролю дуже скрутна. Тому істотний розвиток одержали спектральні пристрої, що реалізують непрямі методи контролю, зокрема, по спектральним складовим активної потужності, споживаної приводними двигунами технологічного устаткування [62, 63, 89-92].

Принцип дії спектральних пристроїв контролю заснований на виділенні й обробці складових активної потужності, обумовлених взаємодією робочих органів технологічного устаткування з рудними частками.

Створювані на робочих органах навантажувальні моменти визначаються властивостями руди, що переробляється, і режимами роботи устаткування. При цьому через обертання робочих органів інформація про навантажувальний момент у спектрі активної потужності відображається на оборотній частоті технологічного апарата і, як правило, у діапазоні до подвійної оборотної частоти [42, 49].

Наприклад, для конусних дробарок рівень зусиль, що розвиваються при скороченні часток руди, визначається її міцністю, а кількість таких часток визначається крупністю вихідної руди. Зміна кількості часток, що скорочуються, у процесі дроблення приводить до виникнення варіацій навантажувального моменту, що модулює потужність приводного двигуна дробарки [89].

У результаті навантажувальний момент має постійну складову (на нульовій частоті), пропорційну крупності і міцності руди, що дробиться, і перемінну складову (у смузі частот $f = f_n \dots f_v$), пропорційну крупності. Цей момент прикладений до ексцентрикового вузла, що обертається з частотою хитань конуса f_k . Тоді рівень \bar{A} складової активної потужності на частоті f_k хитань рухливого конуса відповідає постійній складовій навантажувального моменту і пропорційний функції міцності і крупності вихідної руди, а рівень \tilde{A} складових у смугах $f_k \pm (f_n \dots f_v)$, що характеризують перемінну складову навантажувального моменту, пропорційний функції крупності вихідної руди.

В результаті рівень \bar{A} , скорегований по величині рівня \tilde{A} , корелює тільки з міцністю руди [89].

Основними проблемами при здійсненні такого підходу є складність реалізації інфранизькочастотної фільтрації аналоговими засобами, а також мала вибірковість фільтрів (ослаблення сигналів сторонніх частот) через

близькість розділюваних частот. Так, якщо інформативні складові сигналу активної потужності знаходяться між першою і другою оборотною частотою, то вибірковість складає не краще $-3,5$ дБ на кожен порядок фільтра (відношення розділюваних частот не більше 1,5).

З метою зниження похибки контролю шляхом підвищення вибірковості до інформативних складових у відомих пристроях реалізується метод синхронної демодуляції сигналу потужності, заснований на теоремі модуляції (змішування).

Цей метод включає множення сигналу активної потужності на гармоніку опорної частоти f_0 , що приводить до зсуву спектра сигналу щодо вихідної інформативної складової по частоті на $\pm f_0$ і фільтрацію результуючого сигналу в низькочастотній області, де відношення розділюваних частот і, відповідно, вибірковість більше.

Недоліком такого підходу є виникнення паразитних складових, що обмежують вибірковість по верхній границі відношенням розділюваних частот. Відомі пристрої мають також велику інструментальну похибку, обумовлену варіацією параметрів аналогових схем, і жорсткі вимоги до точності синхронізації фази гармоніки опорної частоти і складової сигналу активної потужності на оборотній частоті.

Гранулометричний склад кускового матеріалу є основним показником ведення технологічних процесів дроблення і здрібнювання. Оперативне керування, наприклад, технологічними процесами дроблення і здрібнювання залізної руди при автоматизованому контролі її гранулометричного складу на різних стадіях переробки дозволяє підвищити продуктивність цих процесів по готовому продукту на 5-7 % .

Для контролю гранулометричного складу продуктів дроблення існує безліч засобів вимірів, серед яких більш кращими по надійності, оперативності й конструктивному виконанню є гранулометри безперервної (потокової) дії. Вони містять у собі контактні, що працюють безпосередньо в потоці (електромеханічні, п'єзоелектричні, електроакустичні), і безконтактні

гранулометри, що працюють поза потоком матеріалу (оптичні, магнітоіндукційні, ультразвукові, радіометричні тощо).

Контактні гранулометри засновані на реєстрації механічних вібрацій, виникаючих у пружному чутливому елементі (металева плита, консольна балка, ножі спеціальної конструкції) при його ударній взаємодії з кусковим матеріалом. Дані пристрої практично не вийшли за рамки експериментальних розробок за винятком гранулометру НДІАчермет [36], призначеного для контролю вмісту класу +25 мм у потоці мілкодробленої руди.

До недоліків контактних гранулометрів необхідно, насамперед, віднести інтенсивне зношування чутливих елементів, що обумовлює їхню низьку точність.

Зазначених недоліків позбавлені безконтактні гранулометри, що використовують спрямовані високочастотні електромагнітні випромінювання, включаючи оптичний діапазон довжин хвиль.

Прикладом безконтактного контролю гранулометричного складу крупнодробленої руди є автоматичний гранулометр УКДР-100 [22], структурна схема якого наведена на рис. 1.7 і включає первинний перетворювач 1 у вигляді автогенераторного датчика з відкритим коливальним контуром, підсилювач 2, активний фільтр 3, амплітудний селектор 4, формувач 5, реєстратор б і вторинний реєструючий прилад 7.

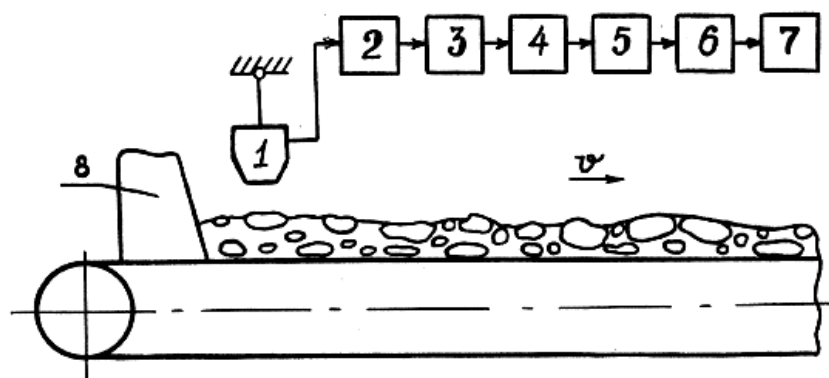


Рис. 1.7. Структурна схема гранулометра УКДР-100

Принцип дії гранулометру заснований на залежності характеру рельєфу поверхні кускового матеріалу від його гранулометричного складу.

Перетворення рельєфу в електричний сигнал здійснюється за допомогою безконтактного первинного перетворювача 1, при цьому його установка в безпосередній близькості від живильника 8 і відповідний вибір частоти автогенератора практично виключають вплив сегрегації й вологості кускового матеріалу на точність вимірів. За результатами промислових випробувань відносна похибка вимірів вмісту класу +100 мм у крупнодробленій залізній руді не перевищує 6%.

Для безконтактного контролю гранулометричного складу кускового матеріалу в потоці використовуються також рентгенівські і гама-випромінювання [12, 33], але найбільш перспективними вважаються оптичні методи та засоби контролю [96, 104-106].

Теоретичною основою оптичних методів контролю, які реалізуються системами технічного зору (СТЗ), є теорема Акера [45] про рівність відносин площ і об'ємів кускового матеріалу. Це обґрунтовує використання в таких СТЗ контролю гранулометричного складу за площами зображень кусків матеріалу (метод фотопланіметрії).

Алгоритми обробки інформації в СТЗ містять, зазвичай, наступні етапи [106, 108-114]:

- захоплення й формування зображення;
- попередня обробка зображення;
- кодування – передача – приймання – декодування зображення;
- відновлення, сегментація й класифікація зображення.

Формування зображення містить у собі настроювання оптоелектронної системи, коли вирішуються питання вибору поля зору, фокусування, умов освітленості, експозиції, захисту поля зору від пилу тощо. При цьому вибір поля зору повинен виключати вплив сегрегації в потоці кускового матеріалу на контрольоване зображення (що може бути досягнуте, наприклад, установкою оптичного перетворювача (камери) у зоні перевантаження матеріалу), а також забезпечувати перебування в полі зору представницької проби [106]. При цьому перехід від маси представницької проби до необхідного розміру поля зору

нескладно здійснити, знаючи статистичні характеристики крупності контрольованого матеріалу і його щільність.

Попередня обробка зображень спрямована на поліпшення (відновлення, згладжування) зображення, перекрученого шумом і впливом факторів, що його спотворюють (змазку, розфокусування, тощо).

Джерелами шуму є неідеальність камери й алгоритмів формування зображення, погані умови зйомки (недостатня освітленість і пил), а також завади в каналах зв'язку (внаслідок наявності промислового устаткування великої одиничної потужності істотними є імпульсні завади, а також білий шум).

Для придушення імпульсного шуму широко використовується медіанна фільтрація, при якій кожному пікселю в деякій його оточенні (вікні) шукається медіанне значення і привласнюється цьому пікселю.

Білий шум придушується шляхом згладжування (усереднення по сусідах), що полягає в згортці зображення з різними функціями (масками). При цьому матричний фільтр із функцією Гаусса називається гауссіаном. Його перевагою є швидкість роботи, оскільки через його сепарабельність згортку можна вести послідовно по рядкам і по стовпцям.

Операції кодування – передача – прийом – декодування зображення використовуються в розподілених СТЗ, у яких блоки формування зображення і наступної його обробки просторово рознесені. При їх виконанні використовуються стандартні рішення (канальне кодування Хафмена, стиск кадрів зображення JPEG, JPEG-2000 і відеопотоків MPEG-2, MPEG-4, тощо).

Метою відновлення є реконструкція перекрученого зображення. Методи відновлення засновані на моделюванні процесів перекручувань і застосуванні зворотних процедур для відтворення вихідних зображень, а сегментація полягає у розбивці зображення на однорідні області, що потім класифікуються відповідно до призначення СТЗ.

Наразі створені апаратно-програмні комплекси аналізу зображень, прикладом яких є система аналізу зображень "Відеомайстер-56" [23, 25].

Апаратна частина системи складається з оптичної системи, системи введення й оцифровки зображення, його моніторингу на дисплей, комп'ютера розширеної комплектації й системи реєстрації. Апаратна частина забезпечує введення зображення, що перебуває в полі зору системи, з лінійною характеристикою передачі яскравості і його наступну оцифрування. Стандартним робочим форматом зображення, що вводиться, обраний формат 512x512 точок з 256 градаціями яскравості. Похибка 0,2% від розміру сцени забезпечує задовільну точність проведення метричних вимірів для більшості технологічно-мінералогічних завдань, а по-друге, швидкість обробки зображення залишається досить високою - тривалість будь-якої елементарної операції обробки повного зображення - від 0,5 до декількох секунд.

Для досягнення універсальності системи "Відеомайстер - 56" обробка й аналіз зображень у ній здійснюється програмно. Система дозволяє здійснювати виділення мінеральних часток, вимірювати їх базові метричні параметри, а також проводити ваговий, диференціальний, інтегральний і кореляційний аналізи.

Недоліком цієї системи є неможливість використання її в автоматичному режимі для контролю потоку руди.

У роботах [55, 58] запропонована автоматична система «Гранулометр» для контролю сипучих матеріалів у технологічному потоці: на конвеєрі або в падаючому шарі. Система орієнтована на визначення розмірів дробленого, гранульованого або огрудкованого матеріалу й розрахована по класу захисту технічних засобів на застосування в тяжких умовах ГЗК.

До складу «Гранулометра» входять пристрої зчитування відеозображення (відеокамери), а також комп'ютер, в якому установлений модуль перетворення аналогового кадру в цифрове зображення й реалізовані програмні блоки, що розраховують розміри дроблених, гранульованих або огрудкованих часток і проводиться їхня статистична обробка. Обробка ведеться за допомогою алгоритмів, що дозволяють виділяти контурні зображення дроблених часток і вимірювати їхні розміри на кадрові зображення.

У результаті визначається кількісний розподіл дроблених, гранульованих або огрудкованих часток, наприклад, по діаметрах мінімальних описуваних окружностей, по площі часток тощо.

Система «Гранулометр» має: діапазон розмірів вимірюваних часток від 5 до 45 мм; період виміру при використанні ПК Pentium-500 – близько 30 с; кількість точок виміру, що обслуговуються одним комп'ютером – від 1 до 16 і швидкість руху матеріалу – до 1 м/с.

Недоліком цієї системи є обмежений діапазон контрольованої крупності, а також її невисока точність, обумовлена низькою завадостійкістю використовуваних алгоритмів обробки відеоінформації.

Внаслідок відсутності прямих методів контролю об'ємного заповнення млина рудою істотний розвиток одержали непрямі методи. Одним з відомих методів є контроль акустичного або вібраційного шуму млина. Ці методи одержали розвиток в 70-80 рр. ХХ століття і найбільш відомими є розробки ВАТ «Союзцветметавтоматика» «Звук-7» (акустичний шум) і УРК-3 (вібраційний шум) [29]. Розвитком цих розробок є віброакустичний аналізатор ВАЗМ-1, який є універсальним інтелектуальним приладом нового покоління, реалізованим на базі РС-сумісного контролера. Прилад використовує три типи шумових параметрів – акустичний, вібраційний та енергетичний шум. Комбінування параметрів дозволяє використовувати його для практично будь-яких типів млинів.

Для млинів самоздрібнювання досить ефективний радіоізотопний контроль. Сучасна реалізація такого методу можлива на базі універсального радіоізотопного перетворювача РП-24 з відповідним програмним забезпеченням.

Безперервний контроль гранулометричного складу пульпи можливий різними методами – оптичним, седиментаційним (по кривій осадження твердого в пульпі), безпосередньо механічним. Розвиток останніх двох методів в 70-80 р.р. реалізоване ВАТ «Союзцветметавтоматика» у приладах «Сегран» і

«Мікрон», відповідно. Сучасні рішення безпосередньо механічного методу застосовані в подальших розробках приладів типу «ПІК-074» [29].

У гранулометрі «ПІК-074П» реалізований метод визначення гранулометричного складу, заснований на наявності кореляційного зв'язку між процентним вмістом контрольного класу й середнім діаметром крупних класів в аналізованій пульпі.

Корпус датчика виконаний герметичним і вологонепроникним, тому зміна рівня вимірюваної пульпи й зовнішній полив датчика не впливають на його роботу. Шляхом удосконалень досягнуто, що зміна Т:Ж на 50% практично не позначається на результатах вимірів для вдосконаленого датчика. У гранулометрі реалізований також новий метод компенсації температурної погрішності, що забезпечує точність виміру на рівні ситового аналізу в режимі реального часу. Гранулометр відрізняється простотою конструкції, доступною ціною, не вимагає кваліфікованого персоналу для профілактичного обслуговування й не має потреби в спеціальній підготовці пульпи.

Гранулометр ПІК-074П має ступінь захисту IP66 і може контролювати два класи крупності пульпи в діапазоні від 0,028 до 1 мм. Середня квадратична похибка контрольованої величини не перевищує 2%. Гранулометр має струмовий вихід (0-5 мА або 4-20 мА) і вихід RS-485 для зв'язку з ЕОМ.

Гранулометр пройшов випробування й успішно працює на залізвмісних рудах Стойленського ГЗК й Абагурської філії ВАТ «Евразруда».

1.3. Висновки та постановка задачі

Узагальнюючи вищевикладене можна зробити наступні висновки:

1. Рудопідготовка містить у собі технологічні процеси дроблення і здрібнювання, витрати на які складають більше половини собівартості гірничо-збагачувального виробництва. Тому актуальним є проведення досліджень з метою зниження витрат на ці процеси шляхом створення ефективних систем автоматичного керування ними.

2. Процеси рудопідготовки з позицій керування є складними динамічними об'єктами з нестационарними параметрами, нелінійними залежностями і стохастичними змінними, що мають значні транспортні запізнювання, різні режими роботи (включаючи хаотичні із фрактальною розмірністю) і чутливі до якості руди.

3. Для автоматичного керування процесами рудопідготовки широке поширення одержали системи, що використовують або лінеаризовані динамічні моделі об'єктів керування з адаптацією параметрів, або статичну оптимізацію, які в умовах варіації збурювань (якості руди) і змінних режимів роботи устаткування не можуть забезпечити якісне керування нелінійними процесами рудопідготовки. Таким чином, існує невідповідність між складністю об'єктів керування та існуючими методами керування ними (не виконується закон необхідної розмаїтості Ешбі і закон адекватності властивостей об'єкта і регулятора Стаффорда-Біра).

4. Якість руди для процесів рудопідготовки визначається, в основному, її міцністю та крупністю (гранулометричним складом), для контролю яких використовують методи контролю якості руди за спектральними характеристиками споживаної активної потужності технологічними агрегатами та оптичні методи контролю гранулометричного складу руди в потоці, що мають відносно низьку точність.

5. Розмаїтість технологічних схем рудопідготовки і складність її процесів обумовлює необхідність використання універсальних за цілями і ефективних за результатами принципів керування, що реалізуються шляхом синтезу оптимального керування за допомогою методів аналітичного конструювання оптимальних та агрегованих регуляторів. Однак при їх практичному застосуванні виникають труднощі принципового характеру.

6. Оптимальне керування вимагає наявності відповідної апіорної (адекватних прогнозуючих моделей) й апостеріорної (поточних вимірів і результатів обробки) інформації. Це потребує застосування маловитратних і ефективних засобів оцінювання й ідентифікації, для чого найбільш

перспективним є використання методів систем штучного інтелекту, зокрема, нейронних мереж і систем з нечіткою логікою, що здатні до навчання і є універсальними й ефективними апроксиматорами.

Таким чином, невирішеною актуальною науковою проблемою є підвищення ефективності автоматизованого керування процесами крупного дроблення і самоздрібнювання руд в умовах зміни їх динамічних режимів роботи і параметрів та збуреного середовища шляхом синтезу і реалізації оптимального керування в процесі функціонування систем керування на основі ідентифікації та прогнозування стану керованих процесів з контролем основних збурень.

Для розв'язання цієї наукової проблеми необхідно вирішити наступні задачі:

- теоретично обґрунтувати принципи оптимального керування нелінійними процесами крупного дроблення та самоздрібнювання руд на стадіях проектування і функціонування систем автоматизованого керування та визначити точність реалізації цього керування;
- розробити методіку вибору параметрів дискретизації та відновлення сигналів, що забезпечують припустиму похибку апроксимації при розв'язанні задач спостереження й ідентифікації керованих процесів;
- розробити способи контролю з підвищеною точністю міцності і крупності руди та її гранулометричного складу за спектральним та оптичним методами;
- розробити адаптивний фільтр-апроксиматор для підвищення точності прогнозування й ідентифікації складних нелінійних сигналів та керованих процесів;
- запропонувати метод ідентифікації процесів крупного дроблення та самоздрібнювання руд у класі інтелектуальних прогнозуючих моделей;

- розробити адаптивні системи оптимального керування процесами крупного дроблення та самоздрібнювання руд з інтелектуальним прогнозуванням.

РОЗДІЛ 2. УДОСКОНАЛЕННЯ ПІДСИСТЕМИ СИНТЕЗУ ШЛЯХОМ РОЗРОБКИ МЕТОДУ АДАПТИВНОГО ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ В АСУ ПРОЦЕСОМ ККД

2.1. Передумови для удосконалення методу синтезу адаптивного оптимального керування в АСУ процесом ККД

Витрати на технологічні процеси рудопідготовки (дроблення і подрібнення) складають близько половини собівартості гірничо-збагачувального виробництва. Тому актуальним є підвищення ефективності цих процесів, наприклад, шляхом створення автоматичних систем управління (АСУ) ними.

Процеси дроблення з позицій управління є складними об'єктами управління (ОУ), що характеризуються істотною нелінійністю залежностей вхід-вихід, змінними параметрами і структурою, які мають значні транспортні запізнювання [1]. Це викликає необхідність використання в АСУ цими процесами алгоритмів адаптації моделей і законів управління до реальних умов функціонування ОУ.

2.2. Поточний стан справ у сфері керування ККД

З другої половини ХХ століття освоєно технологію самоздрібнювання магнетитових кварцитів, особливістю якої є наявність лише однієї стадії дроблення - крупнокускового дроблення (ККД). Це дозволило знизити капітальні витрати на будівництво підприємств на 20%, але при цьому істотно збільшилися питомі витрати електроенергії.

Процес ККД здійснюється зазвичай в конусних дробарках ККД-1500 (Рис. 2.1.а). Руда з кар'єру розміром 0-1200 мм транспортується автосамоскидами або самоперекидними вагонами (думпкарами). Дроблена руда крупністю 0-350 мм через бункер під дробаркою за допомогою пластинчастих живильників надходить на конвеєри, які подають руду в бункера технологічних секцій самоздрібнювання.

Для процесу ККД вихідними змінними є гранулометричний склад дробленого продукту $\Gamma_{\text{вих}}$, Продуктивність процесу $P_{\text{др}}$ і споживана потужність

$M_{др}$ (Рис. 2.1.б). Керуючими впливами є продуктивність рудного живлення (подача) $\Pi_{вх}$ і розмір розвантажувальної щілини дробарки Щ. До збурення відносять гранулометричний склад вхідної руди $\Gamma_{вх}$, Її міцність K_p , Стан футеровок ζ і ін. [1].

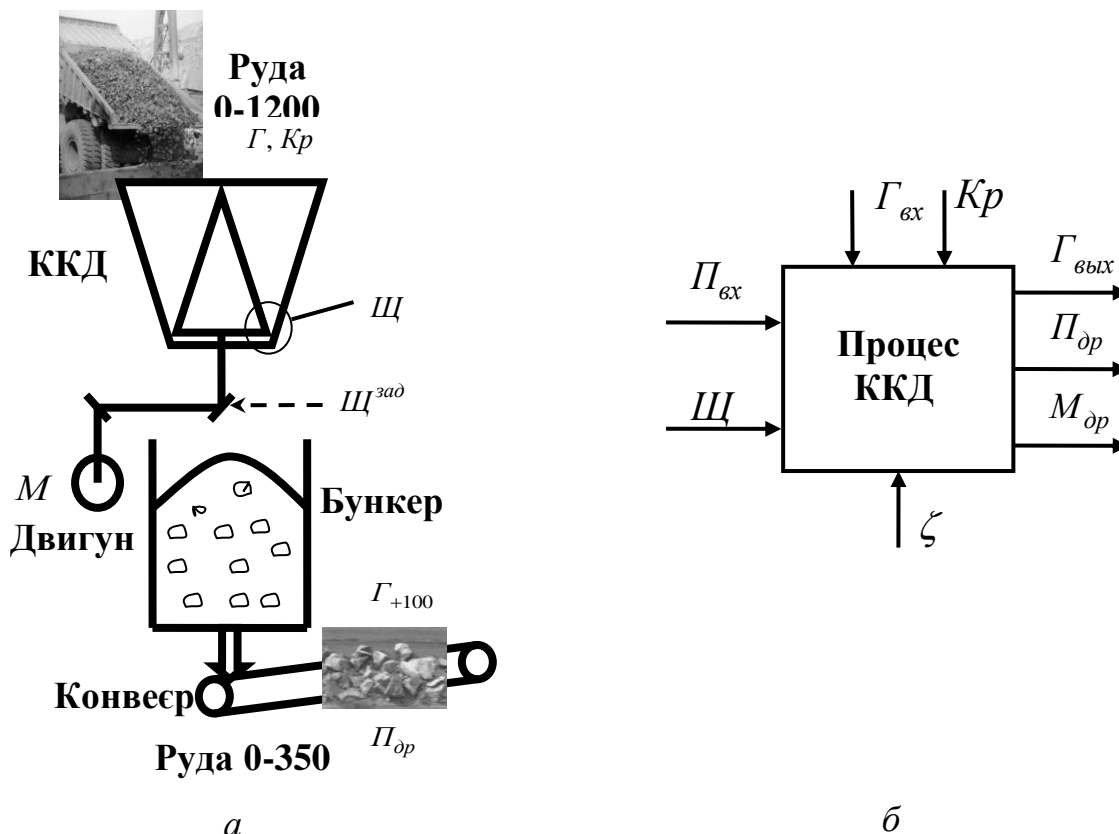


Рис. 2.1. Технологічна схема процесу ККД (а) і його Представлення як об'єкта управління (б)

Найбільш трудомістким і важливим в оптимізації процесів ККД руд є вибір критерії оптимальності (цілі управління) і математичної моделі технологічного процесу.

Крім забезпечення якості продукту процеси рудоподготовки повинні бути узгоджені за продуктивністю. При цьому на гірничо-збагачувальних комбінатах з переробки магнетитових кварцитів тісний взаємозв'язок між якістю і продуктивністю дроблення істотно ослаблена, і управління процесом ККД доцільно здійснювати за якісним показником [2], наприклад, шляхом мінімізації різниці між поточним $\Gamma_{вих}$ і заданим $\Gamma_{вих}^{зад}$ гранулометричними складами продуктів дроблення

$$\|\Gamma_{\text{вих}} - \Gamma_{\text{вих}}^{\text{зад}}\| \rightarrow \min \quad (2.1)$$

при обмеженнях на допустимі потужність $M_{\text{др}} \leq M_{\text{др max}}$ і продуктивність $P_{\text{др}} \geq P_{\text{др min}}$. При цьому, заданий гранулометричний склад $\Gamma_{\text{вих}}^{\text{зад}}$ відповідає максимальній продуктивності по вхідній руді наступного в технологічній лінії процесу самоздрібнювання.

Складність процесів дроблення викликає необхідність розробки і використання універсальних і ефективних принципів управління ними відповідно до прийнятих критеріїв якості. Це виконується за допомогою оптимального управління, щодо якого одним з універсальних і ефективних в практичному застосуванні до складних нелінійних ОУ є принцип мінімуму узагальненої роботи, який реалізується, наприклад, за допомогою методу прогнозуючої моделі і функціоналами узагальненої роботи (ФУР) [3].

Крім того, нестационарність і стохастичність ОУ з запізненням вимагає створення адаптивних алгоритмів управління, в яких управлінський вплив виробляється при заздалегідь невідомих або змінюється в процесі експлуатації властивостей ОУ [3, 4].

Таким чином, невирішеним завданням є розробка оптимальних за ФУР адаптивних АСУ нелінійним процесом ККД з прогнозуючої моделлю.

2.3. Розробка алгоритму синтезу адаптивного управління процесом ККД за ФУР з прогнозуючою моделлю

За способом реалізації процесу оптимізації управління розрізняють рішення завдання при проектуванні АСУ, коли на період функціонування системи покладається лише реалізація отриманого закону, а також об'єднаний синтез, коли всі оптимізаційні завдання формуються і вирішуються в процесі функціонування АСУ.

Використання законів оптимального управління, отриманих на етапі проектування АСУ, виправдано, коли процес ККД має постійні режими роботи і відсутні варіації збурень (несуттєві зміни властивостей руди).

У реальних умовах функціонування процесу ККД, наприклад, при переході до розробки в кар'єрі від одного блоку руди до іншого властивості руди

істотно змінюються, що призводить до варіації режимів ОУ і збурень. В цьому випадку ефективними є універсальні алгоритми синтезу оптимального управління, засновані на поточній ідентифікації ОУ (обробці поточної інформації в реальному масштабі часу) по прогнозуючим моделям [4, 5] і контролі збурень.

Дробарки ККД-1500/180 оснащені гідравлічною системою регулювання ширини розвантажувальної щілини Щ і призначені для роботи під завалом, в результаті чого подача руди P_p не є суттєвим фактором при прогнозуванні гранулометричного складу дробленого продукту $\Gamma_{вих}$. При цьому, для прогнозування $\Gamma_{вих}$ істотними змінними є - гранулометричний склад вхідної руди $\Gamma_{вх}$, Її міцність K_p , А також розмір розвантажувальної щілини дробарки Щ.

Тоді для процесу ККД прогнозуюча модель приймає вигляд:

$$\hat{\Gamma}_{вих}[k+n] = F_{\hat{r}}\{\Gamma_{вих}[k], \text{Щ}[k], \Gamma_{вх}[k], K_p[k], \zeta[k], a_{\hat{r}}[k], k\}, \quad (2.2)$$

де k, n - такт часу і глибина прогнозу; $F_{\hat{r}}, a$ - узагальнена функція (алгоритм) перетворення і параметри моделі.

Змінні $\Gamma_{вих}$, $\Gamma_{вх}$ і K_p , можуть контролюватися за допомогою автоматичних засобів, які реалізують, як прямі методи контролю (наприклад, контроль $\Gamma_{вих}$ і $\Gamma_{вх}$ за допомогою обробки оптичних зображень), так і непрямі (наприклад, контроль $\Gamma_{вх}$ і K_p по спектральним складовим споживаної активної потужності дробарки [6]). Очевидно, що при оцінюванні змінних за непрямыми методами контролю необхідно виконувати прогнозування їх значень.

Таким чином результатом оцінки стану процесу ККД є формування вектору:

$$\hat{z} = \{\text{Щ}, \Gamma_{вх}, K_p, \Gamma_{вих}, P_{др}, M_{др}\}. \quad (2.3)$$

Якщо прийняти технологічний критерій управління (1), то відповідна йому функція витрат Q_3 при оцінюванні та ідентифікації в функціоналі оптимізації являє собою норму вектору (помилку) різниці прогнозованого і реального значень гранулометричного складу продукту дроблення на поточний інтервал:

$$Q_{30ц} = \|\hat{\Gamma}_{вих}[k] - \Gamma_{вих}[k]\|, \quad (2.4)$$

а при синтезі оптимального управління - норму вектору різниці прогнозованого і заданого значень гранулометричного складу продукту дроблення на прогнозований інтервал:

$$Q_{3упр} = \|\hat{\Gamma}_{вих}[k+n] - \Gamma_{вих}^{зад}[k+n]\| \quad (2.5)$$

Для спрощення рішення задачі синтезу оптимального управління необхідно перейти від узагальненої моделі (2.2) до моделі ОУ з лінійно вхідним управлінням. Такий перехід легко виконується, якщо в якості управління використовувати не керуючу координату, а її швидкість [3]. Тобто, якщо управління - це ширина розвантажувальної щілини дробарки Щ, То шукане оптимальне управління - її зміна на поточний такт управління:

$$\Psi^*[k] = \Psi[k] - \Psi[k-1] \quad (2.6)$$

При цьому модель (2) набуває розширений вигляд:

$$\begin{bmatrix} \hat{\Gamma}_{вих}[k+n] \\ \Psi[k] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{\hat{\Gamma}} \\ \Psi[k-1] \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \cdot \Psi^*[k] \quad (2.7)$$

або більш стисло

$$\vec{\Gamma}[k+n] = \vec{A} + \vec{B} \cdot \Psi^*[k] \quad (2.8)$$

де; $\vec{\Gamma}[k+n] = \{\hat{\Gamma}_{вих}[k+n], \Psi[k]\}$; $\vec{A} = \{F_{\hat{\Gamma}}, \Psi[k-1]\}$; $\vec{B} = \{0, 1\}$.

Тоді ФУР з квадратичними функціями витрат на управління для процесу ККД набирає вигляду:

$$J_{\text{ККД}} = E \left\{ V_3 \left(\vec{\Gamma}[k_{j+1}] + \sum_{k=k_1+n}^{k_{j+1}} Q_3(\vec{\Gamma}[k], \Gamma_{\text{вих}}^{\text{зад}}[k]) \right) + K^{-1} \cdot \left\{ \sum_{k=k_1}^{k_{j+1}-n-1} (\Psi^*[k])^2 + K^{-1} \cdot \sum_{k=k_1}^{k_{j+1}-n-1} (\Psi_{\text{opt}}^*[k])^2 \right\} \right\}. \quad (2.9)$$

При цьому, завдання синтезу оптимального управління полягає в знаходженні значення Ψ_{opt}^* , яке мінімізує функціонал (2.9) при дотриманні обмежень $M_{\text{др}} \leq M_{\text{др max}}$; $\Pi_{\text{др}} \geq \Pi_{\text{др min}}$; $\Psi_{\text{min}} \leq \Psi \leq \Psi_{\text{max}}$.

Дискретне рівняння Белмана з урахуванням виразів (2.2), (2.6) - (2.9) набуває вигляду:

$$V_i(\vec{\Gamma}[i+n]) = E \{ Q_3(\vec{\Gamma}[k], \Gamma_{\text{вих}}^{\text{зад}}[k]) + V_{i+1} \{ \vec{A} + \vec{B} \cdot \Psi_{\text{opt}}^*[i] \} - \frac{\partial V_{i+1}}{\partial \Psi[i+1]} \cdot \Psi_{\text{opt}}^*[i] \} \\ i = k_{j+1} - n - 1, k_{j+1} - n - 2, \dots, k_j \quad (2.10)$$

Основне функціональне рівняння Гамільтона-Якобі для автономного руху процесу ККД ($\Psi_{\text{opt}}^* = 0$) Одно:

$$E \left\{ \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{\partial V}{\partial \vec{\Gamma}} \cdot \vec{A} \right\} = E \{ -Q_3(\vec{\Gamma}, \Gamma_{\text{вих}}^{\text{зад}}) \} \quad (2.11)$$

При граничній умові $V_{k_{j+1}}(\vec{\Gamma}[k_{j+1}]) = V_3(\vec{\Gamma}[k_{j+1}])$ рішення рекурентного рівняння (2.10) визначається відповідно до рівності

$$\frac{\partial}{\partial \Psi_{\text{opt}}^*} U_3(\Psi_{\text{opt}}^*[i]) = -\frac{\partial V_{i+1}}{\partial \vec{\Gamma}[i+1]} \cdot \vec{B} \quad (2.12)$$

а оптимальне керування має вигляд:

$$\Psi_{\text{opt}}^*[i] = -K \cdot \frac{\partial V_{i+1}}{\partial \Psi_{\text{opt}}^*[i+1]} \quad (2.13)$$

Таким чином, рішення задачі синтезу оптимального управління процесом ККД здійснюється в ході функціонування АСУ на динамічному інтервалі оптимізації із залученням інформації про стан процесу ККД до нового інтервалу оптимізації і його майбутнього стану за прогнозуючою моделлю, що дозволяє спростити синтез і компенсувати збурення, а це забезпечує підвищення якості управління цим процесом.

Системи управління, які реалізують оптимальне управління (2.13) за функціоналом (2.9) при функції витрат (2.5) є оптимальними за точністю системами в статистичному сенсі [3].

Алгоритмічна структура адаптивної оптимальної АСУ процесом ККД за ФУР з прогнозуючою моделлю наведена на Рис. 2.2., а алгоритм синтезу адаптивного оптимального управління складається з наступних процедур (Рис. 2.3):

1) оцінка поточного стану процесу ККД в моменти початку чергового інтервалу управління (k_j) Згідно (2.3);

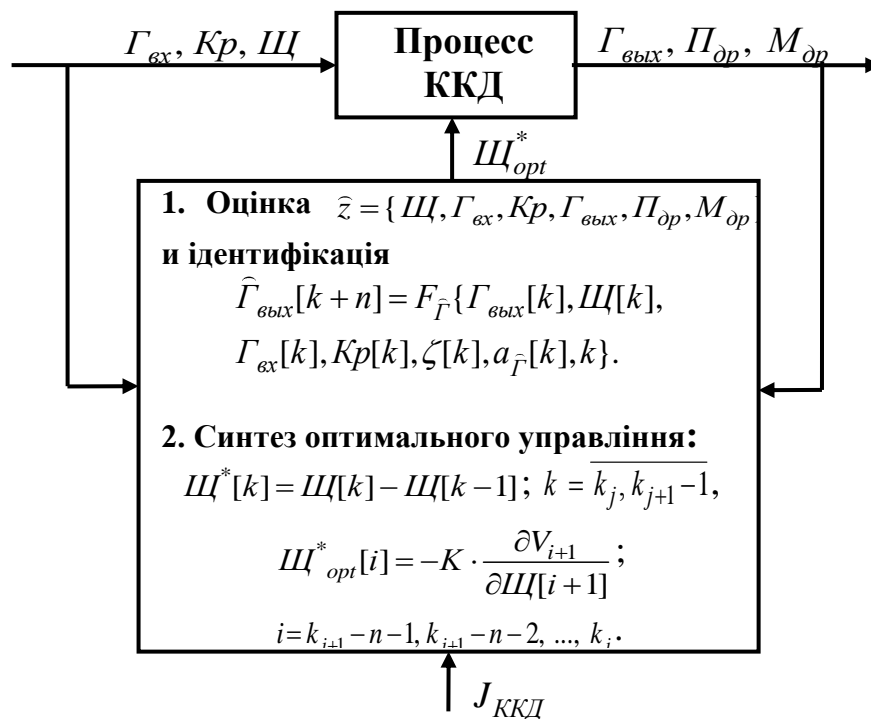


Рис. 2.2. Алгоритмічна структура адаптивної оптимальної АСУ процесом ККД по ФУР з прогнозуючою моделлю

2) ідентифікація структури $F_{\hat{\Gamma}}$ і параметрів $a_{\hat{\Gamma}}$ моделі процесу ККД (2.2);

3) прогнозування вільного руху процесу ККД за моделлю (2.2) (в розширеному вигляді (2.6) - (2.8) при $ШЦ^*[k] = 0$) На заданому інтервалі $k_j + n, k_{j+1} - 1$ оптимізації управління;

4) обчислення градієнта цільової функції $V_{i+1}(\vec{\Gamma}[i + n + 1])$ для поточного стану процесу ККД і формування сигналу оптимального управління відповідно до (2.13).



Рис. 2.3. Процедури алгоритму синтезу адаптивного оптимального управління процесом ККД по ФУР з прогнозуючої моделлю

2.4. Висновки

В реальних умовах функціонування процесу ККД властивості руди істотно змінюються, що призводить до варіації режимів ОУ і збурень. В цьому випадку ефективними є універсальні алгоритми синтезу оптимального управління, засновані на поточній ідентифікації ОУ (обробці поточної інформації в реальному масштабі часу) за прогнозуючими моделям.

Вирішення завдання синтезу оптимального управління процесом ККД здійснюється в ході функціонування АСУ за принципом мінімуму узагальненої роботи на змінному інтервалі оптимізації із залученням інформації про стан

керованого процесу до нового інтервалу оптимізації і його майбутнього стану за прогнозуючою моделлю, що дозволяє спростити рішення задачі синтезу для нелінійного процесу ККД і компенсувати збурення, а це забезпечує підвищення якості управління цим процесом.

Розроблено алгоритм адаптивного оптимального управління процесом ККД, що включає процедури оцінки стану керованого процесу, ідентифікації його прогнозуючої моделі, прогнозування руху процесу, а також синтезу оптимального управління, що дозволяє реалізувати АСУ процесом ККД, інваріантну до змін режимів роботи обладнання і збурення середовища, і, таким чином, підвищити якість управління.

Подальші дослідження повинні бути спрямовані на розробку інформаційної технології структурно-параметричної ідентифікації процесу ККД.

РОЗДІЛ 3. РЕАЛІЗАЦІЯ АСУ ПРОЦЕСОМ ККД

3.1. Призначення і мета створення АСУ

АСУ призначена для забезпечення ефективного управління процесом крупнокускового дроблення залізних руд.

Характер протікання технологічного процесу - безперервно-дискретний.

Основними цілями створення АСУ ККД є:

- зниження дисперсії великої продукту ККД;
- підвищення оперативності управління комплексом ККД;
- підвищення продуктивності комплексу;
- зниження питомих енерговитрат на дроблення.

Ці цілі досягаються шляхом:

- автоматизації процесів збору, передачі та обробки інформації про роботу комплексу ККД на основі математичних методів контролю, засобів зв'язку та обчислювальної техніки;
- автоматизації процесу обліку та аналізу роботи комплексу ККД;
- забезпечення доступу до поточної інформації про технологічні параметри процесу і технічний стан обладнання комплексу;
- автоматизації процесу визначення і реалізації оптимальних режимів ведення технологічного процесу.

В якості критеріїв оцінки роботи системи використовуються значення:

- дисперсії величини продукту дроблення;
- продуктивності комплексу;
- експлуатаційних витрат.

3.2. Структура АСУ процесу ККД

Схема АСУ процесом ККД представлена на рис. 3.1.

Дроблена руда крупністю 0-350 мм через бункер 1 під дробаркою за допомогою пластинчастих живильників надходить на конвеєр 2. Далі системою конвеєрів руда подається в прийомні бункера збагачувальної фабрики і за

допомогою катучних конвеєрів надходить в бункера технологічних секцій самоздрібнювання.

Система управління включає пристрій 3 контролю ширини розвантажувальної щілини дробарки, перетворювач 4 споживаної активної потужності приводного двигуна дробарки, пристрій 5 контролю крупності і міцності вхідних руди, конвеєрні ваги 6, пристрій 7 контролю гранулометричного складу роздробленої руди (гранулометрію), а також виконавчий механізм 8 регулювання ширини розвантажувальної щілини 9 дробарки. Ці пристрої зв'язані з керуючою системою за допомогою інформаційної шини 10.

За режимом функціонування АСУ ККД на першому етапі експлуатації відноситься до системи-радника з автоматичним виконанням інформаційних функцій і функцій локального управління, а також з виробленням і поданням оператору рекомендованих значень керуючих впливів, що забезпечують оптимальний режим роботи технологічного об'єкта управління (ТОУ). Видачу оптимальних значень керуючих впливів на системи регулювання в автоматичному режимі здійснюється після аналізу результатів експлуатації АСУ ККД у відповідному режимі.

АСУ процесом ККД являє собою дворівневу систему управління, що працює в реальному масштабі часу. Вона охоплює всі ланки процесу ККД (розвантаження руди з думпкарів (автосамоскидів), дроблення, вивантаження руди на конвеєр і ін.). АСУ процесом ККД відноситься до цехового рівня і займає нижній рівень в ієрархії АСУ ГЗК. Вона має інформаційні зв'язки із суміжними АСУТП середнього і дрібного дроблення, а також з АСУТП подрібнення.

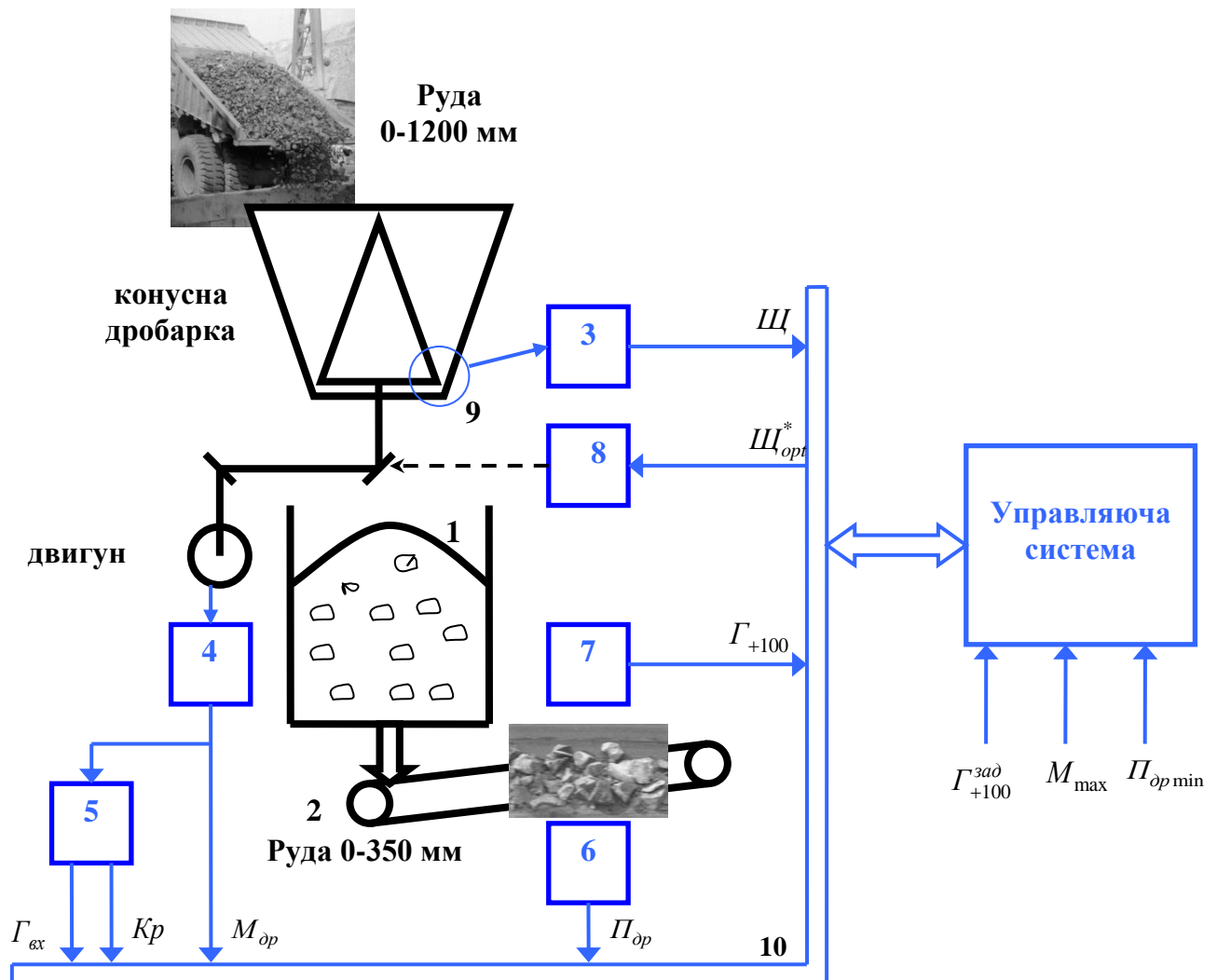


Рис. 3.1. Схема АСУ процесом ККД

Ієрархічно система має три рівні обробки і формування інформаційних потоків.

Нижній рівень - датчики технологічних параметрів, датчики-реле контролю технічного стану устаткування.

Середній рівень - програмовані логічні контролери (PLC), в яких здійснюється введення та обробка сигналів датчиків.

Верхній рівень - автоматизовані робочі місця (АРМ) диспетчера і оперативного технологічного персоналу.

АСУ ККД передбачає розширення системи за рахунок включення в неї додаткових завдань:

- аналізу та подання інформації про стан датчиків і агрегатів конвеєрних трактів, контролю положення розвантажувальних візків і запасів руди в накопичувальних бункерах, порад оперативному персоналу з управління персоналом транспортування і завантаження подрібненою рудою;
- визначення оптимальної стратегії управління завантаженням накопичувальних бункерів виходячи з конкретних технологічних ситуацій;
- розрахунок керуючих впливів відповідно до оптимальної стратегії завантаження бункерів і видача керуючих впливів на виконавчі механізми.

Інформаційний обмін між компонентами АСУ здійснюється:

- на рівні вхідних сигналів - між датчиками і первинними перетворювачами контрольованих технологічних параметрів і програмованими мікропроцесорними контролерами (PLC);
- на рівні комунікаційної промислової мережі нижнього рівня - між PLC і частотними перетворювачами приводів живильних конвеєрів (інтерфейс RS485);
- на рівні комунікаційної промислової мережі середнього рівня - між PLC і сервером системи;
- на рівні комунікаційної промислової мережі верхнього рівня - між сервером системи і операторськими станціями АРМ;
- на рівні комунікаційної промислової мережі верхнього рівня - між сервером системи і корпоративною мережею комбінату.

В системі передбачена апаратна і програмна діагностика технічних засобів. Апаратна діагностика реалізується шляхом самодіагностики у використаних технічних засобах. Програмна діагностика реалізується прикладним програмним забезпеченням з виведенням відповідної оперативної інформації на підставі рішення задач:

- контролю достовірності вхідних аналогових сигналів;

- контролю достовірності вхідних альтернативних дискретних сигналів;
- контролю даних, що вводяться оперативного управління.

3.3. Функції АСУ процесом ККД

Перелік функціональних підсистем та їх основні характеристики наведені на рис. 3.2 і в табл. 3.1.

Функціонально система виконує наступні процедури обробки інформації:

- введення і попередня обробка інформації;
- відображення поточного стану технологічних процесів;
- ведення баз даних і формування звітних документів (відеокадрів);
- розрахунок значень і видача регулюючих впливів на виконавчі механізми;
- визначення оптимальних режимів ведення технологічного процесу.

Процедура введення і попередньої обробки інформації призначена для прийому сигналів з датчиків первинної інформації та інформації по каналах зв'язку з нижчестоящих систем автоматизації, фільтрації перешкод, аналізу інформації на достовірність і несуперечливість, аналізу аварійних ситуацій і формування відповідних ознак підготовки даних для ведення звітних документів.

Процедура відображення поточного стану технологічних процесів призначена для формування і відображення на моніторах автоматизованих робочих місць диспетчера і оперативного технологічного персоналу поточних значень контрольованих показників і станів основного устаткування, в тому числі аварійного.

Процедура ведення баз даних і формування звітних документів призначена для реєстрації даних, забезпечення регламентованого доступу до них, їх дублювання і знищення відповідно до заданої програми, формування і видачі поточних і історичних документів (протоколів), підготовки інформації для суміжних систем.

Процедура розрахунку регулюючих впливів призначена для реалізації оптимальних режимів ведення ТП.

процедура визначення оптимальних режимів призначена для визначення оптимальних значень ширини розвантажувальної щілини дробарки при дотриманні обмежень на хід ведення ТП.

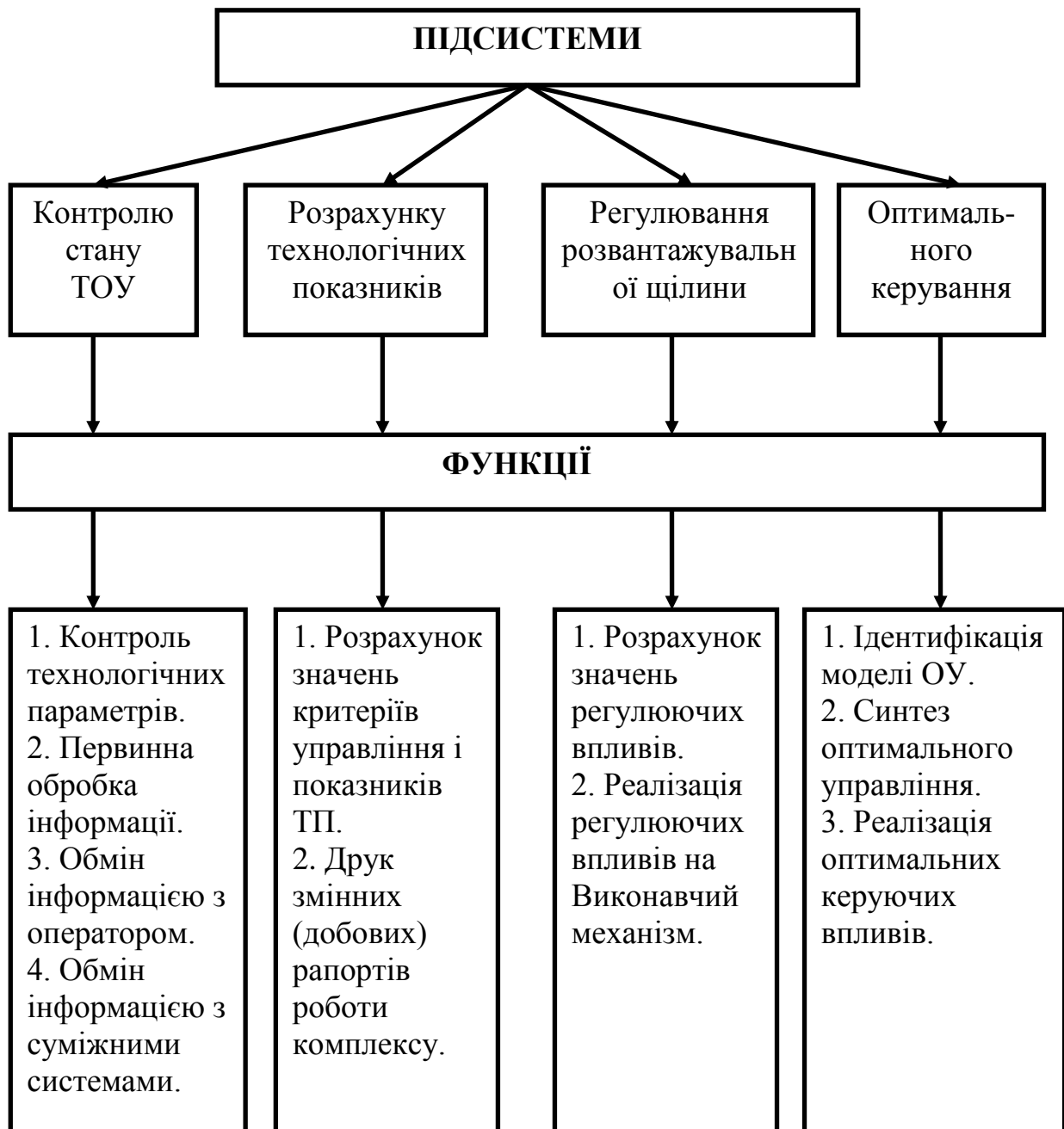


Рис. 3.2. Функціональна структура АСУ процесом ККД

Таблиця 3.1. Характеристики функціональних підсистем АСУ процесом ККД

Функціональна підсистема	Призначення підсистеми	Найменування складовою функції	Перелік комплексу завдань
<p>1. Підсистема централізованого контролю за станом технологічного ОУ</p>	<p>1. Збір, первинна обробка, нормалізація і зберігання інформації, що використовується іншими підсистемами для вирішення своїх завдань; видача інформації на засоби відображення</p>	<p>1.1. Контроль технологічних параметрів процесу ККД і стану основного технологічного устаткування. 1.2. Первинна обробка інформації.</p>	<p>1.1.1. Прийом аналогових, числово-імпульсних, дискретних і цифрових сигналів від датчиків контролю параметрів ТП і стану обладнання. 1.2.1. Обробка (фільтрація, усереднення, інтегрування) інформації. 1.2.2. Аналіз і реєстрація зміни станів датчиків, основного технологічного обладнання ККД, режимів роботи підсистеми регулювання, блокувань і захистів, виходу параметрів за</p>

		<p>1.3. Обмін інформацією з оперативно-диспетчерським персоналом.</p> <p>1.4. Обмін інформацією з суміжними системами.</p>	<p>встановлені межі.</p> <p>1.3.1. Подання на пристроях відображення інформації про поточні значення технологічних параметрів, станах датчиків і агрегатів процесу ККД, режимах роботи, завданнях підсистемі регулювання, радах з управління ТП. Прийом повідомлень від оператора.</p> <p>1.3.2. Періодична преса інформації про основні технологічні параметри.</p> <p>1.4.1. Підготовка та виконання процедур обміну інформацією з суміжними системами.</p>
2. Підсистема розрахунку технологічних показників	2. Оперативне інформування диспетчерського персоналу та	2. Розрахунок техніко-економічних показників і	2.1. Розрахунок значень критеріїв управління і змінних (добових і т.д.)

(РТП)	керівництва фабрики великого дроблення про виробничі показники за задані інтервали часу	формування звітної документації	показників ТП (простоїв обладнання, обсяги переробки руди, запаси руди в бункерах, енергетичні витрати). 2.2. Друк змінних (добових і т.д.) рапортів комплексів ККД.
3. Підсистема регулювання ширини розвантажувальної щілини дробарки (РРЩ)	3. Реалізація оптимальних (за завданням підсистеми управління) або раціональних (за завданням оператора) режимів ведення технологічного процесу	3. Розрахунок значень і видача регулюючих впливів на виконавчі механізми	3.1. Розрахунок значень регулюючих впливів відповідно до прийнятих законів регулювання ширини щілини. 3.2. Видача регулюючих впливів на виконавчі механізми (інтегро-пропорційні ланки) гідросистеми дробарки.
4. Підсистема оптимального управління технологічним процесом (УТП)	4. Визначення оптимальних значень керуючих параметрів (для	4. Визначення оптимальних режимів ведення технологічног	4.1. Ідентифікація моделі ОУ з використанням методів адаптації. 4.2. Визначення

	обраного оператором критерію) при дотриманні обмежень	о процесу	оптимальних значень керуючих параметрів на основі прогнозуючої моделі ОУ. 4.3. Формування і видача завдань підсистемі регулювання (порад оператору).
--	---	-----------	---

Для всіх контрольованих параметрів в системі передбачається формування і зберігання історії технологічного процесу і стану обладнання.

Відображення поточного стану організовується у вигляді мнемосхем з поданням значень контрольованих параметрів і станів обладнання. Історія технологічних процесів представляється у вигляді одиночних і взаємопов'язаних трендів контрольованих параметрів.

Документування в системі передбачає:

- автоматичне ведення системного журналу з реєстрацією в хронологічному порядку повідомлень системи про аварійні ситуації і зупинок основного обладнання;
- облік простоїв основного обладнання;
- оперативний облік переробки руди і автоматичне ведення звітних документів (змінних протоколів);
- ведення протоколу реалізації управління процесом ККД (оптимальних розрахункових режимів ведення ТП і їх фактична реалізація).

В результаті реалізації всіх функцій АСУ ККД забезпечить наступні значення параметрів:

- дисперсію вмісту класу +100 мм в роздробленій руді відносно заданого значення (в діапазоні 35-47%) не перевищує (8%) 2;

- експлуатаційну продуктивність комплексу ККД не менше 1800 т / год;
 - питомі енерговитрати на дроблення не більше 0,79 кВт * год / т.
 - В АСУ ККД передбачена підготовка і видача такої інформації:
 - показників виконання змінно-добових завдань;
 - техніко-економічних показників роботи комплексу ККД;
 - сумарний час простоїв обладнання за видами (технологічне, аварійне), аварій за типами (механічна, електрична) і за типом устаткування.
- Реакція обчислювальної системи не перевищує 3 с.

3.4. Розробка інтерфейсу АСУ для ККД

АСУ процесом ККД являє собою дворівневу систему управління, що працює в реальному масштабі часу. Вона охоплює всі ланки процесу ККД (розвантаження руди з думпкарів (автосамоскидів), дроблення, вивантаження руди на конвеєр і ін.).

АСУ процесом ККД відноситься до цехового рівня і займає нижній рівень в ієрархії АСУ гірничо-збагачувального комбінату (ГЗК). Вона має інформаційні зв'язки із суміжними АСУТП середнього і дрібного дроблення, а також з АСУТП подрібнення.

Ієрархічно система має три рівні обробки і формування інформаційних потоків. Нижній рівень - датчики технологічних параметрів, датчики-реле контролю технічного стану устаткування. Середній рівень - програмовані логічні контролери, в яких здійснюється введення та обробка сигналів датчиків. Верхній рівень - автоматизовані робочі місця диспетчера і оперативного технологічного персоналу.

Для оперативного управління і спостереження в АСУ процесом ККД була використана SCADA-система SIMATIC WinCC V6 – Siemens, інтерфейс якої представлений на рис. 3.3.

Інтерфейс відображає стан технологічного обладнання і показники ходу ведення процесу КД.

Рішення завдання управління процесом ККД включає:

- формування завдання на утримання класу +100 мм у дробленій руді із зазначенням обмеження на час допустимих простоїв;
- структурно-параметричну ідентифікацію процесу ККД;
- синтез оптимального управління з визначенням оптимального значення розвантажувальної щілини дробарки і оцінкою поточного значення часу простоїв;
- установку оптимального значення розвантажувальної щілини на дробарці.

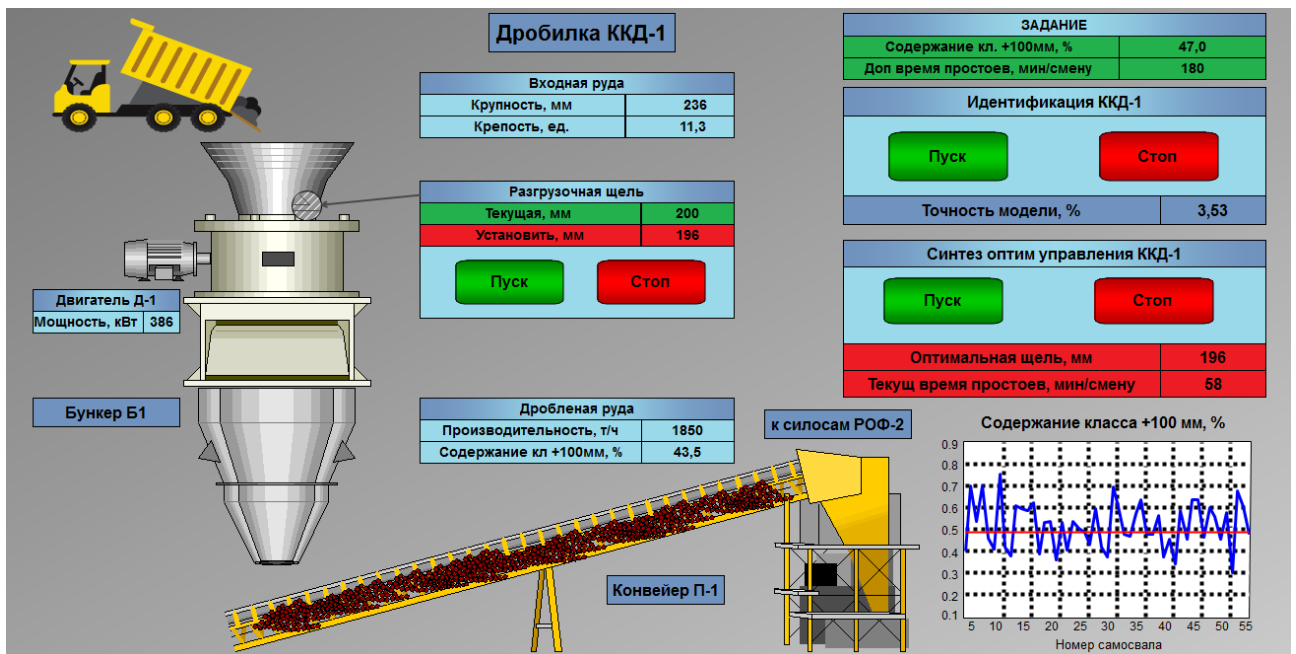


Рис. 3.3. Інтерфейс робочого місця оператора-технолога в АСУ процесом ККД

Елементи інтерфейсу (кнопки та інформаційні поля) пов'язані з обробниками функцій які написані та виконуються в середовищі MatLab, реалізація даних обробників приведена в Додатку Б. Зв'язок WinCC з MatLab відбувається завдяки OPC-серверу від MatLab та WinCC OPC-клієнту.

OPC - OLE for Process Control, це аббревіатура для Object-Linking and Embedding (OLE) для управління процесом, є оригінальною назвою для відкритого стандарту розробленого у 1996 році IETF (industrial automation industry task force), що визначає обмін у реальному часі даними рівня підприємства між керуючими пристроями різних виробників.

В системі передбачена реалізація процедур управління як в автоматичному, так і в ручному режимах. На інтерфейсі також у вигляді графіка відображається інформація про поточні значення змісту класу +100 мм у роздробленій руді і її відхилення від заданого значення.

3.5. Оцінка ефективності АСУ процесом ККД

Оцінка ефективності АСУ технологічним процесом ККД виконувалася шляхом її імітаційного моделювання в середовищі MatLab за допомогою розробленої програми, яка приведена в Додатку Б.

Як характеристики гранулометричного складу вхідний руди використовувалася середньозважена крупність Γ_{ex} , А в якості характеристики роздробленої руди $\Gamma_{вих}$ - вміст у ній класу +100 мм Γ_{+100} . Якість вхідних руди (її крупність $\Gamma_{вх}$ і міцність K_p). Похибки вимірювання якості вхідної руди становили не більше 10% (гаусівська модель шуму з рівнем 0,1 від рівня сигналів). Загальна тривалість циклу управління приймалася рівною одному такту.

Відповідно до класифікації [55] запропонована система управління є оптимальною за точністю в статистичному сенсі.

З особливостей процесу ККД глибина прогнозу прийнята в 3 такту, а глибина пам'яті з різними входами до 4 тактів. Діапазони значень вхідних (Γ_{ex}, K_p), Що управляє ($Щ$) і вихідний (Γ_{+100}) Змінних були занормовані в сигнали з діапазоном зміни 0 ... 1.

Розглянемо обмеження, що накладаються на процес ККД. Відповідно до формули (1.1) критерій управління враховує обмеження на споживану потужність і продуктивність.

Обмеження споживаної потужності реалізується технічними засобами.

Зважаючи на особливості проектування ГЗК продуктивність дробильного обладнання перевищує продуктивність наступних технологічних ліній самоздрібнювання руди на 40-50% (див. П. 1.2.1 і [21]). Для зручності при моделюванні перейдемо до часу допустимих простоїв дробильного обладнання:

$$T_{\text{пр доп}} = T_{\text{н}} \cdot \frac{P_{\text{др}} - P_{\text{подр}}}{P_{\text{подр}}} \quad (3.1)$$

де $T_{\text{н}}$ - інтервал часу спостереження; $P_{\text{др}}$ - проектна продуктивність дробильного відділення; $P_{\text{подр}}$ - проектна продуктивність подрібнювального відділення.

У проектній продуктивності враховані планові ремонти, затримки подачі руди, поломки устаткування і т.д. Крім того, час реалізації управління (установки заданого значення (зміни) ширини розвантажувальної щілини дробарки, яке виконується на її холостому ходу) має велике значення, оскільки швидкість зміни ширини щілини при опусканні конуса (збільшення щілини) становить 6 мм / с, а при підйомі - 3 мм / с. Тоді час простоїв має бути менше часу допустимих простоїв (3.1): $T_{\text{пр}} \leq T_{\text{пр доп}}$.

Значення ширини розвантажувальної щілини дробарки $Щ$ (Control) обмежуються (через конструктивних міркувань) значеннями $Щ_{\text{min}} = 160$ мм і $Щ_{\text{max}} = 240$ мм.

Коефіцієнт в вираженні синтезу оптимального управління прийнято рівним $K = 0,65$.

Як завдання (Set-point) прийнято значення змісту класу +100 мм у роздробленої руди, рівне $\Gamma_{+100}^{\text{зад}} = 49\%$ згідн, а мірою точності оптимального управління було середньоквадратичне відхилення (помилка) поточного утримання від заданого значення: $\|\Gamma_{+100} - \Gamma_{+100}^{\text{зад}}\| \rightarrow \min$.

Значення середньоквадратичних помилок склали: в некерованому режимі $\varepsilon_{\text{нс}} = 0,194$ (39,9% відносних) і в керованому - $\varepsilon_{\text{вс}} = 0,065$ (13,6% відносних), що визначає зниження помилки управління (в порівнянні з некерованим режимом) в 1,85 раз. Статистична перевірка за критерієм знаків підтвердила значущість отриманих висновків.

В цілому, помилки управління визначаються помилками прогнозування. Отримане підвищення якості управління процесом ККД дозволяє значно

підвищити продуктивність по вхідній руді млинів самоздрібнювання типу ММС 70x23 на 4,1 т / год або на 3,8%.

Таким чином, запропонована система управління забезпечує в порівнянні з відомими системами зниження в 2 рази помилки управління і підвищення на 3,8% продуктивності процесу самоздрібнювання за рахунок стабілізації змісту класу +100 мм у його вхідній руді з дотриманням обмежень на хід ведення процесу.

Час синтезу на один такт (цикл) управління при обчисленнях на процесорі I Core 5 становить 0,01 с при аналітично-числовому пошуку оптимального управління.

3.5. Висновки

В даному розділі була описана структура та функції АСУ процесу ККД. Також використовуючи SCADA-систему SIMATIC WinCC V6 – Siemens був розроблений інтерфейс робочого місця оператора АСУ та засобами середовища імітаційного моделювання MatLab було реалізовано метод адаптивного оптимального керування АСУ процесом ККД.

Також була проведена оцінка ефективності даного рішення.

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

При розробці програмного забезпечення важливими етапами є визначення трудомісткості розробки ПЗ, розрахунок фінансових і тимчасових витрат на створення програмного продукту.

Для розрахунків цих економічних показників використовуються такі дані:

1. q – передбачуване число операторів програми ($q = 500$).
2. C – коефіцієнт складності програми ($C = 1,5$).
3. p – коефіцієнт корекції програми в ході її розробки ($p = 0,06$).
4. B – коефіцієнт збільшення витрат праці внаслідок недостатнього опису задачі ($B = 1,2$).
5. K – коефіцієнт кваліфікації програміста ($K = 1,0$).
6. $C_{\text{пр}}$ – середня годинна заробітна плата програміста ($C_{\text{пр}} = 40$ грн/год).
7. $C_{\text{мч}}$ – вартість машинного часу ЕОМ ($C_{\text{мч}} = 13$ грн/год).

4.1. Визначення трудомісткості розробки програмного забезпечення

Нормування праці в процесі створення ПЗ істотно ускладнено в силу творчого характеру праці програміста. Тому трудомісткість розробки ПЗ може бути розрахована на основі системи моделей з різною точністю оцінки.

Трудомісткість розробки ПЗ можна розрахувати за формулою:

$$t = t_o + t_{\text{и}} + t_a + t_{\text{п}} + t_{\text{отл}} + t_{\text{д}} \text{ людино-годин,} \quad (4.1)$$

де t_o – витрати праці на підготовку й опис поставленої задачі (приймається = 50);

$t_{\text{и}}$ – витрати праці на дослідження алгоритму рішення задачі;

t_a – витрати праці на розробку блок-схеми алгоритму;

$t_{\text{п}}$ – витрати праці на програмування по готовій блок-схемі;

$t_{\text{отл}}$ – витрати праці на налагодження програми на ЕОМ;

$t_{\text{д}}$ – витрати праці на підготовку документації.

Складові витрати праці визначаються через умовне число операторів у ПЗ, яке розробляється.

Умовне число операторів:

$$Q = q * C * (1 + p), \quad (4.2)$$

q – передбачуване число операторів.

C – коефіцієнт складності програми. Коефіцієнт складності задачі C характеризує відносну складність програми по відношенню до так званої типової задачі, що реалізує стандартні методи рішення, складність якої прийнята рівною одиниці (величина C лежить в межах від 1,25 до 2). Для даного програмного продукту, з урахуванням великої кількості і різноманітності оброблюваної інформації коефіцієнт складності завдання візьмемо 1,6.

p – коефіцієнт корекції програми в ході її розробки. Коефіцієнт корекції програми p – збільшення обсягу робіт за рахунок внесення змін до алгоритму або програми за результатами уточнення постановок. В даному випадку програма вимагала численних доробок. З урахуванням цього візьмемо коефіцієнт рівний 0,07.

В підсумку:

$$Q = 500 * 1,5 * (1 + 0,06) = 795$$

Витрати праці на вивчення опису задачі визначаються з урахуванням уточнення опису і кваліфікації програміста:

$$t_{и} = Q * \frac{B}{(75...85) * K}, \quad (4.3)$$

B – коефіцієнт збільшення витрат праці внаслідок недостатнього опису задачі. Коефіцієнт збільшення витрат праці в залежності від складності завдання приймається від 1,2 до 1,5. Через недостатнє опису рішення задачі приймемо $B = 1,3$.

K – коефіцієнт кваліфікації програміста, який визначається від стажу роботи за даною спеціальністю. Коефіцієнт становить: для працюючих до двох років – 0,8; від двох до трьох років – 1,0; від трьох до п'яти років – 1,1 - 1,2; від п'яти до семи – 1,3 - 1,4; понад сім років – 1,5 - 1,6. Тому прийmemo $K = 1,0$.

$$t_{\text{и}} = 795 * \frac{1,2}{(80 * 1,0)} = 11,9 \text{ людино-годин.}$$

Витрати праці на розробку алгоритму рішення задачі:

$$t_{\text{а}} = \frac{Q}{(20 \dots 25) * K} \quad (4.4)$$

$$t_{\text{а}} = \frac{795}{(23 * 1,0)} = 34,6 \text{ людино-годин.}$$

Витрати на складання програми по готовій блок-схемі:

$$t_{\text{п}} = \frac{Q}{(20 \dots 25) * K} \quad (4.5)$$

$$t_{\text{п}} = \frac{795}{(23 * 1,0)} = 34,6 \text{ людино-годин.}$$

Витрати праці на налагодження програми на ЕОМ за умови автономного налагодження одного завдання:

$$t_{\text{отл}} = \frac{Q}{(4 \dots 5) * K} \quad (4.6)$$

$$t_{\text{отл}} = \frac{795}{(5 * 1,0)} = 159 \text{ людино-годин.}$$

За умови комплексного налагодження програми витрати на налагодження зростають в півтора рази. Таким чином, витрати праці на налагодження програми за умови комплексного налагодження завдання:

$$t_{\text{отл}}^K = 1,5 * t_{\text{отл}} \quad (4.7)$$

$$t_{\text{отл}}^K = 1,5 * 159 = 238,5 \text{ людино-годин.}$$

Витрати праці на підготовку документації:

$$t_{\text{д}} = t_{\text{др}} + t_{\text{до}} \quad (4.8)$$

де $t_{\text{др}}$ – трудомісткість підготовки матеріалів і рукопису;

$t_{до}$ – трудомісткість редагування, друку й оформлення документації.

Трудомісткість підготовки матеріалів і рукописи визначається за формулою:

$$t_{др} = \frac{Q}{(15...20) * K} \quad (4.9)$$

$$t_{др} = \frac{795}{(19 * 1,0)} = 41,8 \text{ людино-годин.}$$

Трудомісткість редагування, друку й оформлення документації:

$$t_{до} = 0,75 * t_{др} \quad (4.10)$$

$$t_{до} = 0,75 * 41,8 = 31,4 \text{ людино-годин.}$$

Загальні витрати на підготовку документації складуть:

$$t_{д} = 41,8 + 31,4 = 73,2 \text{ людино-годин.}$$

Отримуємо трудомісткість розробки ПЗ:

$$t = 50 + 11,9 + 34,6 + 34,6 + 159 + 73,2 = 363,3 \text{ людино-годин.}$$

Таким чином, трудомісткість розробки програмного забезпечення становить 363,3 людино-годин.

4.2. Витрати на створення програмного забезпечення та тривалість його розробки

Витрати на створення ПЗ (К_{по}) включають витрати на заробітну плату розробників програми (З_{зп}), яка визначається множенням сумарної трудомісткості розробки ПЗ (t) на середню заробітну плату програміста з нарахуваннями та вартості машинного часу на налагодження.

$$K_{по} = Z_{зп} + Z_{мв} \quad (4.11)$$

Заробітна плата розробників визначається за формулою:

$$Z_{зп} = t * C_{пр}, \quad (4.12)$$

де t – загальна трудомісткість, людино-годин.

$C_{пр}$ – середня годинна заробітна плата програміста, грн/год.

$$Z_{\text{п}} = 363,3 * 40 = 14532 \text{ грн.}$$

Вартість машинного часу, необхідного для налагодження програми на ЕОМ:

$$Z_{\text{мв}} = t_{\text{отл}} * C_{\text{мч}}, \quad (4.13)$$

де $t_{\text{отл}}$ – трудомісткість налагодження програми на ЕОМ, людино-годин.

$C_{\text{мч}}$ – вартість машинного часу ЕОМ, грн/год.

$$Z_{\text{мв}} = 159 * 13 = 2067 \text{ грн.}$$

Витрати на створення програмного забезпечення складуть:

$$K_{\text{по}} = 14532 + 2067 = 16599 \text{ грн.}$$

Визначені таким чином витрати на створення програмного забезпечення є одноразовими капітальними витратами.

Очікуваний період створення ПО:

$$T = \frac{t}{(B_k * F_p)} \text{ міс.}, \quad (4.14)$$

де B_k – число розробників;

F_p – місячний фонд робочого часу (при 40 годинному робочому тижні $F_p = 176$ годин).

$$T = \frac{363,3}{(1 * 176)} = 2,1 \text{ міс}$$

Таким чином, очікувана тривалість розробки складе близько 2,1 місяців, а витрати – 16599 грн.

4.3. Маркетингові дослідження ринку збуту розробленого програмного продукту

В рамках дипломної роботи був розроблений інтерфейс робочого місця оператора-технолога автоматизованої системи керування (АСУ) процесом крупнокускового дроблення (ККД), програма моделювання адаптивних систем з інтелектуальним прогнозуванням, а також програма моделювання

оптимального керування процесом ККД за функціоналом узагальненої роботи (ФУР) з інтелектуальним прогнозуванням.

Проект, що розробляється є десктопним додатком, розроблений за допомогою SCADA-системи SIMATIC WinCC V6 – Siemens та зінтегрований з пакетом прикладних програм для числового аналізу MatLab у якому і втілено алгоритм синтезу адаптивного управління процесом ККД за ФУР з прогнозуючою моделлю.

Функціонально система виконує наступні процедури обробки інформації:

- введення і попередню обробку інформації;
- відображення поточного стану технологічних процесів;
- ведення баз даних і формування звітних документів (відеокадрів);
- розрахунок значень і видача регулюючих впливів на виконавчі механізми;
- визначення оптимальних режимів ведення технологічного процесу.

Такий функціонал цілком задовольняє потреби гірничо-видобувних підприємств інформація є необхідним для контролю і підвищення ефективності виробництва.

Подібні рішення уже існують на ринку, такі як «АСУ КОНСТАР» та «АСУ Технологія», які мають більш кращу інтеграцію з датчиками та мікроконтролерами (задля зчитування та передачі інформації) але в більшості вони використовуються лише для моніторингу та розроблюються безпосередньо для підприємства з урахуванням усіх його технічних особливостей. А дане рішення може легко бути застосоване для будь-якого підприємства гірничо-видобувного профілю, та надає розширену аналітичну інформацію, що дозволяє підвищити ефективність виробництва. Також за потреби воно може бути легко удосконалене та враховувати додаткові показники, специфічні для кожного окремого підприємства та працювати як додаткова система до уже зінтегрованої на підприємстві АСУ.

Джерелами інформації для розробки є:

- технічна література з оптимального управління технологічними процесами рудопідготовки;
- наукові статті за темою розробки оптимальних алгоритмів для АСУ.

В результаті збору, аналізу і обробки всіх цих джерел інформації був розроблений алгоритм синтезу адаптивного управління процесом ККД за ФУР з прогнозуючою моделлю, а також інтерфейс задля взаємодії з ним.

Результатом розробки алгоритму та інтерфейсу до нього є вирішення таких потреб:

- формування завдання на утримання класу +100 мм дробленої руди із зазначенням обмеження на час допустимих простоїв;
- структурно-параметричну ідентифікацію процесу ККД;
- синтез оптимального управління з визначенням оптимального значення розвантажувальної щілини дробарки і оцінкою поточного значення часу простоїв;
- установку оптимального значення розвантажувальної щілини на дробарці.
- реалізація процедур управління як в автоматичному, так і в ручному режимах.

4.4. Оцінка економічної ефективності впровадження програмного забезпечення

З огляду на те що для кожного окремого підприємства значення економічної ефективності будуть різними (в силу суттєвих відмінностей у об'ємах видобування, кваліфікації персоналу, наявності сучасної техніки і застосування різних технологій видобутку і обробки руди), економічна ефективність не може бути прорахована.

Однак, в цілому, впровадження даного рішення в процес видобування і обробки матеріалів може дозволити гірничо-видобувним підприємствам отримати такий ефект покращення ефективності підприємства:

- зниження питомих енерговитрат на дроблення руди;
- підвищення продуктивності комплексу;
- підвищення оперативності управління комплексом ККД
- зниження дисперсії величини продукту ККД
- можливість нарощення об'ємів виробництва за рахунок удосконалення процесів.

ВИСНОВКИ

В даній роботі наведено, та дано рішення актуальній науковій проблемі підвищення ефективності автоматизованого управління процесами крупного дроблення і самоздрібнювання руд і реалізації оптимального керування в процесі функціонування автоматизованих систем керування на основі ідентифікації та прогнозування стану керованих процесів з контролем основних збурень.

Встановлено, що:

1. Оптимальне керування процесами крупного дроблення і самоздрібнювання руд формується в процесі функціонування системи керування за принципом мінімуму узагальненої роботи та за синергетичним принципом із поточним оцінюванням стану керованого процесу і його майбутнього стану за прогнозуючими моделями з контролем основних збурень, що забезпечує, на відміну від відомого, підвищення ефективності процесів шляхом формування керування, інваріантного до збуреного середовища та нелінійності процесів.

2. Ідентифікація процесів крупного дроблення та самоздрібнювання руд здійснюється шляхом визначення режиму роботи керованого процесу та розмірності його стану, на основі чого за допомогою композиції методів глобальної і локальної оптимізації визначається структура та параметри моделі процесу, що дозволяє, на відміну від відомого, отримати інтелектуальні прогнозуючі моделі підвищеної точності зі здатністю адаптуватися під змінювані властивості керованих процесів.

3. Оптимальне керування багатозв'язним процесом самоздрібнювання руди формується шляхом поточної оцінки стану керованого процесу, його структурно-параметричної ідентифікації, прогнозування за інтелектуальною моделлю вільного руху процесу та вироблення сигналів оптимального керування, які відпрацьовуються локальними адаптивними системами автоматичного регулювання з інтелектуальним прогнозуванням, що забезпечує, на відміну від відомого, підвищення якості керування в умовах зміни режимів

роботи і параметрів керованого процесу та збуреного середовища.

Основні наукові та практичні результати полягають у наступному:

1. Встановлено, що автоматизовані системи керування нелінійними процесами крупного дроблення та самоздрібнювання руд в умовах варіації їх динамічних режимів та збурень мають низьку ефективність. Підвищення якості керування цими процесами може бути досягнуто шляхом створення систем оптимального керування, які використовують прогнозуючі моделі керованих процесів з поточним контролем основних збурень.

2. За допомогою аналітичних досліджень визначені залежності точності реалізації оптимального керування від похибок виконання етапів алгоритму його синтезу. Встановлено, що для забезпечення близькості реального керування до теоретично досяжного, перш за все, необхідно підвищувати точність оцінювання поточного стану керованого процесу та прогнозування його вільного руху.

3. Розроблено алгоритм адаптивного оптимального управління процесом ККД, що включає процедури оцінки стану керованого процесу, ідентифікації його прогнозуючої моделі, прогнозування руху процесу, а також синтезу оптимального управління, що дозволяє реалізувати АСУ процесом ККД, інваріантну до змін режимів роботи обладнання і збурення середовища, і, таким чином, підвищити якість управління.

4. Розроблено інтерфейс робочого місця оператора АСУ та засобами середовища імітаційного моделювання MatLab було реалізовано алгоритм адаптивного оптимального керування АСУ процесом ККД.

Подальші дослідження повинні бути спрямовані на розробку інформаційної технології структурно-параметричної ідентифікації процесу ККД.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Марюта А.Н., Качан Ю.Г., Бунько В.А. Автоматическое управление технологическими процессами обогатительных фабрик. – М.: Недра, 1983. – 277 с.
2. Качан Ю.Г. Выбор критерия управления циклами дробления горно-обогатительных комбинатов по переработке магнетитовых кварцитов // Обогащение полезных ископаемых: Респ. межвед. науч.-техн. сб. – 1984. – Вып. 34. – С. 14–16.
3. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. А.А. Красовского. – М.: Наука, 1987. – 712 с.
4. Красовский А.А., Буков В.Н., Шендрик В.С. Универсальные алгоритмы оптимального управления непрерывными процессами. – М.: Наука, 1977. – 272 с.
5. Herbst J.A. Optimal Control of Communion Operations / J.A. Herbst, F.A. Alba, W.T. Pate A.E. Oblad // International Journal of Mineral Processing. – 1988. – Vol. 22. – № 1-4. – P. 275-296.
6. Корнієнко В.І. Підвищення точності спектральних пристроїв контролю технологічних процесів рудопідготовки / В.І. Корнієнко, О.Ю. Гусев // Збірник наукових праць НАУ. – Проблеми інформатизації та управління. – Вип. 1 (25). – 2009. – С. 75-81.
7. Поркуян О.В. Керування нелінійними динамічними об'єктами збагачувальних виробництв на основі гібридних моделей Гамерштейна : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук : спец. 05.13.07 “Автоматизація процесів керування” / О.В. Поркуян; КТУ. – Кривий Ріг, 2009. – 32 с.
8. Моркун В.С. Ультразвуковий контроль характеристик подрібнених матеріалів та адаптивне управління процесами подрібнення-класифікації руд на його базі : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук : спец. 05.13.07 “Автоматизація технологічних процесів” / В.С. Моркун; КТУ. – Кривий Ріг, 1999. – 32 с.

9. Качан Ю.Г. Результаты идентификации процесса дробления по принципу самоорганизации / Ю.Г. Качан, В.И. Корниенко // Горн. электромеханика и автоматика: Респ. межвед. науч.-техн. сб. – 1988. – Вып. 53. – С. 32-38.
10. Анищенко В.С. Знакомство с нелинейной динамикой / В.С. Анищенко. – М.-Ижевск: ИКИ, 2002. – 172 с.
11. Шустер Г. Детерминированный хаос. Введение / Г. Шустер. – М.: Мир, 1988. – 256 с.
12. Качан Ю.Г. Моделирование возмущающих параметров процесса крупнокускового дробления для задач технологических исследований и АСУТП Ю.Г. Качан, Н.М. Трипутень // Горная электромеханика и автоматика. – Киев.– 1986. – Вып. 49. – С. 29-36.
13. Автоматизация процессов измельчения в обогащении и металлургии / Улитенко К.Я., Соколов И.В., Маркин Р.П. и др. // <http://www.scma.ru>. – 10 с.
14. Хорольский В.П. Робастная система управления сложным технологическим процессом / В.П. Хорольский, Е.К. Бабец // Науковий вісник НГУ. – 2005. – №1. – С. 74-76.
15. Козин В.З. Контроль технологических процессов обогащения / В.З. Козин. – Екатеринбург: ВШ, 2005. – 303 с.
16. Серго Е.Е. Опробование и контроль технологических процессов обогащения / Е.Е. Серго. – Киев: Вища школа, 1979. – 272 с.
17. Марюта А.Н. Разработка способа автоматического контроля внутримельничного заполнения и его практическая реализация / А.Н. Марюта, И.В. Новицкий // Изв. вузов. Цветная металлургия. – 1982. – № 2. – С. 119-124.
18. Качан Ю.Г. Испытания устройства контроля крупности исходной руды конусной дробилки / Ю.Г. Качан, В.И. Корниенко, Л.И. Лошкарев // Горный журнал. – 1990. – № 1. – С. 59-60.
19. Петровский О.А. Контроль содержания дробимого класса в кусковом материале, перерабатываемом конусно-валковыми дробилками / О.А.

Петровский, Н.А. Фролов, Б.Д. Голубицкий // Горный журнал. – 1986. – № 5. – С.35-36.

20. Белецкий Е.П. Энергоемкость процесса дробления в конусных дробилках для крупного дробления / Е.П. Белецкий // Изв. вузов. Горный журнал. 1976. – № 5. – С.139-140.

21. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практические применения / Бернард Скляр. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.

22. Барон Л.И. Кусковатость и методы ее измерения / Л.И. Барон. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – 123 с.

23. Марюта А.Н. Автоматический контроль гранулометрического состава сыпучих материалов / А.Н. Марюта, Ю.Г. Качан. – Киев-Донецк: Вища школа, 1977. – 120 с.

24. Персиц В.З. Измерение и контроль технологических параметров на обогатительных фабриках / В.З. Персиц. – М.: Недра, 1982. – 191 с.

25. Иткин Г.Е. Контроль крупности минерального сырья автоматическими гранулометрами / Г.Е. Иткин. – М.: Недра, 1986. – 88 с.

26. Качан Ю.Г. Разработка и результаты промышленных испытаний безконтактного гранулометра / Ю.Г. Качан, В.В. Глухов, В.А. Бышинский // Горный журнал. – 1985. – №1. – С. 54-55.

27. Назаров А.С. Фотограмметрия / А.С. Назаров. – М.: Тетра Системс, 2006. – 368 с.

28. Системы технического зрения / Под ред. А.Н. Писаревского, А.Ф. Чернявского. – Л.: Машиностроение, 1988. – 424 с.

29. Цифровая обработка изображений в информационных системах / Грузман И.С., Киричук В.С., Косых В.П. и др. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 352 с.

30. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB / Р. Гонсалес, Р. Вудс, С. Эддинс. – М.: Техносфера, 2006. – 616 с.

31. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. А.А. Красовского. – М.: Наука, 1987. – 712 с.

32. Буков В.Н. Адаптивные прогнозирующие системы управления полетом / В.Н. Буков. – М.: Наука, 1987. – 288 с.
33. Льюнг Л. Идентификация систем: теория для пользователя / Л. Льюнг. – М.: Наука, 1991. – 400 с.
34. Ljung L. Identification of Nonlinear Systems / L. Ljung // Proceeding of the IEEE. – 2006. – № 6. – P. 1-10.
35. Ажогин В.В. Методы фильтрации и управления стохастическими процессами с распределенными параметрами / В.В. Ажогин, М.З. Згуровский, Ю.С. Корбич – К.: Вища школа, 1988. – 446 с.
36. Shannon C.E. Communications in the presence of noise / C.E. Shannon // Processings of the IRE. – Vol. 37. – 1949. – P. 10-21.
37. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях / Макс Ж. – М.: Мир, 1983. – Т. 1. – 312 с.
38. Unser M. Sampling – 50 Years After Shannon / M. Unser // Processings of the IEEE. – April 2000. – Vol. 88. – № 4. – P. 569-587.
39. Дремин И.М. Вейвлеты и их использование / И.М. Дремин, О.В. Иванов, В.А. Нечитайло // Успехи физических наук. – 2001. – Т. 171. – № 5. – С. 465-501.
40. Vaidyanathan P.P. Generalizations of the Sampling Theorem: Seven Decades After Nyquist / P.P. Vaidyanathan // IEEE Transactions on Signal Processing. – February 2001. – Vol. 49. – № 2. – P. 221-232.
41. Дьяконов В. Вейвлеты: от теории к практике / В. Дьяконов. – М.: Солон-Р, 2002. – 448 с.
42. Смоленцев Н. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в Matlab / Н. Смоленцев. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 304 с.
43. Gabor D. Predicting Mashines. Scentia / D. Gabor. – Rev. Int. Sci. – Milano, 1962. – 5, Mai.
44. Kalman R. E. New Results in Linear Filtering and Prediction Theory / R. E. Kalman, R. S. Bucy // Journal of Baste Engineering. – 1960. – Vol. 82. – P. 35-40.

45. Адаптивные фильтры / Под ред. К.Ф.Н. Коузэна и П.М. Гранта. – М.: Мир, 1988. – 392 с.
46. Лапа В.Г. Методы предсказания и предсказывающие системы / В.Г. Лапа. – К.: Вища школа, 1980. – 183 с.
47. Круглов В.В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети / В.В. Круглов, М.И. Дли, Р.Ю. Голунов. – М.: Физматлит, 2001. – 224 с.
48. Воронов В.А. Многоуровневая оптимизация процессов обогащения / В.А. Воронов. – М.: Недра, 1991. – 154 с
49. Красовский А.А. Универсальные алгоритмы оптимального управления непрерывными процессами / А.А. Красовский, В.Н. Буков, В.С. Шендрик. – М.: Наука, 1977. – 272 с.
50. Ивахненко А.Г. Непрерывность и дискретность / А.Г. Ивахненко. – Киев: Наукова думка, 1990. – 224 с.\
51. Летов А.М. Динамика полета и управление / А.М. Летов. – М.: Наука, 1969. – 328 с.
52. Kalman R. Contributions to the theory of optimal control / R. Kalman // Boletin de la Sociedad Matem. Mexican. Segunda serie. – 1960. – № 1. – P. 102-119.
53. Шендрик В.С. Синтез оптимальных управлений методом прогнозирующей модели / В.С. Шендрик // ДАН СССР. – 1975. – Т. 224. – № 3. – С. 561-562.
54. Красовский А.А. Системы автоматического управления полетом и их
их
55. аналитическое конструирование / А.А. Красовский. – М.: Наука, 1973. – 268 с.
56. Беллман Р. Некоторые вопросы математической теории процессов
управления / Р. Беллман, И. Гликсберг, О. Гросс. – М.: Иностранная
литература, 1962. – 354 с.
57. управления / Р. Беллман, И. Гликсберг, О. Гросс. – М.: Иностранная
литература, 1962. – 354 с.
58. Колесников А.А. Синергетическая теория управления / А.А. Колесников. – Таганрог: ТРТУ, М.: Энергоатомиздат, 1994. – 344 с.

Програма моделювання оптимального керування процесом ККД за ФУР
з інтелектуальним прогнозуванням

```

% =Broadband component=AR process order 1
ud.N=256; ud.Nfft=256; f = linspace(-1,1-1/ud.Nfft,ud.Nfft);
%Use the impulse response of the all pole filter for the theoretical
ARPSD
a = -.850848; noisevar = (1-a^2)/10^(0.1);
Par = periodogram(impz(1, [1 a], ud.N), [], 'twosided', ud.Nfft);
noisepsd = noisevar*abs(freqz(1, [1 a], ud.Nfft, 'whole')).^2;

figure;plot(f,10*log10(fftshift(Par+noisepsd)), 'k', 'LineWidth',2);grid;
[Pt,T]=impz(1, [1 a], ud.N);figure;plot(T,Pt);grid; N=ud.N;

% ДИАПАЗОНЫ ИЗМЕНЕНИЯ ЗАДАНИЙ И ВЫХОДОВ ОУ
global k; global U; global Q; global AFA; global MP; global EPS;global
Y;
% ЗАДАНИЕ _ для БИФУРКАЦИИ РЕЖИМОВ ЕНО
for i=1:N+30;
    Q(i)=0.75;
end;
figure;plot(1:N,Q(1:N));grid;%ЗАДАНИЕ==временной сигнал (+-1)!
%p=Q;n=N; r2=rxx_(p,n); % Вычисление АвтоКорр Ф-ции и СпектрПлотн

% ЗАДАНИЕ _ СТУПЕНЬКИ (ХЕВИСАЙД) для ПИТ2 и ЕНО
for i=1:N+30;
    Q(i)=0.0;
    if i-80>0;Q(i)=0.75;end;
    if i-110>0;Q(i)=0.25;end;
    if i-180>0;Q(i)=0.5; end;
end;
figure;plot(1:N,Q(1:N));grid;%ЗАДАНИЕ==временной сигнал (+-1)!
%p=Q;n=N; r2=rxx_(p,n); % Вычисление АвтоКорр Ф-ции и СпектрПлотн

% ЗАДАНИЕ _ СТУПЕНЬКИ (ХЕВИСАЙД) для ПИТ
for i=1:N+30;
    Q(i)=0.0;
    if i-80>0;Q(i)=0.75;end;
    if i-110>0;Q(i)=-0.5;end;
    if i-180>0;Q(i)=0.5; end;
end;

figure;plot(1:N,Q(1:N));grid;%ЗАДАНИЕ==временной сигнал (+-1)!
p=Q;n=N; r2=rxx_(p,n); % Вычисление АвтоКорр Ф-ции и СпектрПлотн

% ЗАДАНИЕ _ ПОЛОСОВОЙ АВТОРЕГРЕСС
randn('state',0);ud.N=ud.N+30;X2(1:ud.N)=0;
M17=100; %Кол-во усреднений в Монте-Карло
for i=1:M17;
    X1=randn(1,ud.N); X2(1:ud.N)=X2(1:ud.N)+X1(1:ud.N);
end;
X2=X2/M17; A(2:ud.N)=0; A(1)=0.00000000001; y1=filter(Pt,A,X2);
B22=[0.00000657 0.00002631 0.00003947 0.00002631 0.00000657]; %Fc=0.5 Hz

```

```

A22=[1.000000 -3.72641 5.21605 -3.250018 0.76049];
B22=B22.'; Y1=filter(B22,A22,y1); Q=Y1(1:ud.N)/max(abs(Y1));
figure;plot(1:ud.N,Q);grid;%Задание (авторегресс времен) сигнал (+-
1)!
p=Q;n=N; r2=rxx_(p,n); % Вычисление АвтоКорр Ф-ции и СпектрПлотн

%=====
% ОУ==ПИ2тау==МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ ММС
a2=0.85;b2=0.2;c22=0.0;d2=1;f2=0.1; % f2=0?????! d2>0; тау=1
a28=a2;b28=b2;c28=c22;d28=d2;f28=f2;
%a28=a2*(1+0.1/N*i); b28=b2*(1+0.1/N*i); c28=c22*(1+0.1/N*i);
d28=d2*(1+0.1/N*i); f28=f2*(1+0.1/N*i);
% НЕСТАЦИОНАРНОСТЬ Коэфф = 10%
YZ=a28*Y(k-1)+b28*U(k-1)-c28*U(k-2); Y(k+np)=(-d28*(YZ)^2+f28)*10;

% ОУ==ПИТау==МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ ММС и КД по ВОЗМУЩ и УПРАВЛ ЗАГРУЗКОЙ
a1=0.85;b1=1;% b1=0.5...1.5
a18=a1;b18=b1;
%a18=a1*(1+0.2/N*i); b18=b1*(1+0.2/N*i); % НЕСТАЦИОНАРНОСТЬ Коэфф =
20%
YZ=a18*Y(k-1)+b18*U(k-1); Y(k+np)=YZ/5.3;

% ОУ==МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ ММС = ОТОБРАЖЕНИЕ ЭНО
a1=1.8;
%if k-100>0;a1=1.1;end;
%if k-150>0;a1=1.5;end;
%if k-200>0;a1=1.8;end;
b1=0.1;% b1>0 <1; a1=0...2; тау=1
a17=a1;b17=b1;

%a17=a1*(1-0.1/ud.N*(i-200)); b17=b1*(1-0.1/ud.N*(i-200)); %
НЕСТАЦИОНАРНОСТЬ параметров 10%
Y(k+np)=1-a17*(U(k-1))^2-b17*Y(k-1);

tic %!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!(ЕНО с СНС-рег и Бифуркац
режимов)!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
np=3; % Глубина прогноза (Задержка тау=np-1)
KN=60;% Кол-во нейронов в скрытом слое
MP=4;%-глубина памяти по входам

% Обнулить (или предобучить!?) массивы переменных
for ii=1:N;
Y(ii)=0;U(ii)=0;YS(ii)=0;Eopt(ii)=0;YSopt(ii)=0;
end;
RMin(1:MP+1)=-0.73; RMax(1:MP+1)=0.73;% Диапазон управления
АФА=newcf([RMin' RMax'],[KN 1],{'logsig' 'purelin'}); %Формир НС АФА

Z1=51;Z2=250;%Диапазон времени регулирования
for k=Z1:Z2;

% ОУ==МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ ММС = ОТОБРАЖЕНИЕ ЭНО
a1=0.5;
if k-100>0;a1=1.1;end;
if k-150>0;a1=1.5;end;
if k-200>0;a1=1.8;end;

```

```

b1=0.1;% b1>0 <1; a1=0...2; tau=1
a17=a1;b17=b1;

%a17=a1*(1-0.1/ud.N*(i-200));          b17=b1*(1-0.1/ud.N*(i-200));          %
НЕСТАЦИОНАРНОСТЬ параметров 10%
    Y(k+np)=1-a17*(U(k-1))^2-b17*Y(k-1);

%ФОРМИРОВАТЬ UBx'=> k-1...k-MP-1
UBx(1:MP+1)=U(k-MP-1:k-1);
[AFA,YS(k+np),ER(k)]=adapt(AFA,UBx',Y(k+np)); % АДАПТАЦИЯ НС АФА

for jj=1:201;
    Uopt(jj)=-0.73+(jj-1)*0.0073;
    %ФОРМИРОВАТЬ UBx2'=> k...k-Mp
    UBx1(1:MP)=U(k-MP:k-1);UBx1(MP+1)=Uopt(jj);
    YYS(jj)=sim(AFA,UBx1');
    EPR(jj)=Q(k+1)-YYS(jj);
end;
[Eopt(k),jopt]=min(abs(EPR)); %Eopt(k) - Ошибки регулирования
U(k)=Uopt(jopt); %Управление для такта k+1
YSopt(k)=YYS(jopt);% Соответствующий управлению выход АФА
end;

ESS(Z1:Z2)=Q(Z1:Z2)-Y(Z1:Z2); %Ошибка регулирования по выходу ОУ
Eabs1=norm(ESS(Z1:Z2))/(Z2-Z1+1)
Eabs2=sum(abs(ESS(Z1:Z2)))/(Z2-Z1+1)
Eotn1=norm(ESS(Z1:Z2))/norm(Q(Z1:Z2))
Eotn2=sum(abs(ESS(Z1:Z2)))/sum(abs(Q(Z1:Z2)))

% ВЫВОДЫ
figure;plot(Z1:Z2,ESS(Z1:Z2));grid; % Вывод ошибки регулирования по ОУ
figure;plot(Z1:Z2,Eopt(Z1:Z2));grid; % Вывод ошибки регулирования по АФА
figure;plot(Z1:Z2,[Y(Z1:Z2)'          YS(Z1:Z2)'          U(Z1:Z2)'
Q(Z1:Z2)']);grid;%Выход +-1!!!
toc%!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
title('Adaptive Control System');
legend('Plant output','AFA output','Control','Set-point');

%figure;plot(1:N2,EE(1:N2));grid; %title('Control Error');

tic          %!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! (ПИТ2          с          ПИД-
per)!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
np=3; % Глубина прогноза (Задержка tau=np-1)
KN=103;% Кол-во нейронов в скрытом слое
MP=5;%-глубина памяти по входам

% Обнулить (или предобучить!?) массивы переменных
for ii=1:N;
    Y(ii)=0;U(ii)=0;YS(ii)=0;EPS(ii)=0;YSopt(ii)=0;PID(ii,1:3)=0.1;
end;
RMin(1:MP+1)=-1; RMax(1:MP+1)=1;% Диапазон управления
AFA=newcf([RMin' RMax'],[KN 1],{'logsig' 'purelin'}); %Формир НС

Z1=51;Z2=100;%Диапазон времени регулирования
for k=Z1:Z2;
    % ОУ==ПИ2тау==МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ ММС

```

```

a2=0.085;b2=0.4;c22=0.1;d2=0.5;f2=0.1; % f2=0?????! d2>0; tau=1
a28=a2;b28=b2;c28=c22;d28=d2;f28=f2;
%a28=a2*(1+0.1/N*i); b28=b2*(1+0.1/N*i); c28=c22*(1+0.1/N*i);
d28=d2*(1+0.1/N*i); f28=f2*(1+0.1/N*i);

% НЕСТАЦИОНАРНОСТЬ Коэфф = 10%
YZ=a28*Y(k-1)+b28*U(k-1)-c28*U(k-2); Y(k+np)=(-d28*(YZ)^2+f28)*10;
k
%ФОРМИРОВАТЬ UBx'=> k-1...k-MP-1
UBx(1:MP+1)=U(k-MP-1:k-1);
[AFA,YS(k+np),ER(k)]=adapt(AFA,UBx',Y(k+np)); % АДАПТАЦИЯ МОДЕЛИ ОУ

Pid0(1:3)=PID(k-1,1:3);
[Popr,Eopr]=fminsearch(@fPID,Pid0);
%Ограничения на ПИД-коэффициенты
%for tt=1:3;if Popr(tt)>200; Popr(tt)=200; end; if Popr(tt)<-200;
Popr(tt)=-200; end; end;
U(k)=U(k-1)+Popr(1)*(EPS(k)-EPS(k-1))+Popr(2)*EPS(k)+Popr(3)*(EPS(k)-
2*EPS(k-1)+EPS(k-2));%Управление для такта k+1
UBx1(1:MP)=U(k-MP:k-1);UBx1(MP+1)=U(k);
YSopt(k)=sim(AFA,UBx1');% Соответствующий управлению выход АФА
PID(k,1:3)=Popr(1:3); EPS(k+1)=Eopr;
end;

ESS(Z1:Z2)=Q(Z1:Z2)-Y(Z1:Z2); %Ошибка регулирования по выходу ОУ
Eabs1=norm(ESS(Z1:Z2))/(Z2-Z1+1)
Eabs2=sum(abs(ESS(Z1:Z2)))/(Z2-Z1+1)
Eotn1=norm(ESS(Z1:Z2))/norm(Q(Z1:Z2))
Eotn2=sum(abs(ESS(Z1:Z2)))/sum(abs(Q(Z1:Z2)))
% ВЫВОДЫ
figure;plot(Z1:Z2,[PID(Z1:Z2,1) PID(Z1:Z2,2) PID(Z1:Z2,3)]);grid;%Коэф
ПИД-Per
figure;plot(Z1:Z2,ESS(Z1:Z2));grid; % Вывод ошибки регулирования по ОУ
figure;plot(Z1:Z2,[Y(Z1:Z2)' YS(Z1:Z2)' U(Z1:Z2)'
Q(Z1:Z2)']);grid;%Выход +-1!!!
toc%!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
title('Adaptive Control System');
legend('Plant output','AFA output','Control','Set-point');
%figure;plot(1:N2,EE(1:N2));grid;%title('Control Error');

tic %!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! (ПИТ с ПИД-рег без
прогноzir)!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
np=3; % Глубина прогноза (Задержка tau=np-1)
% Обнулить (или предобучить!?) массивы переменных
for ii=1:N;
Y(ii)=0;U(ii)=0;YS(ii)=0;EPS(ii)=0;YSopt(ii)=0;PID(ii,1:3)=[0.0112
0.0194 -0.0017];
end;
Z1=51;Z2=250;%Диапазон времени регулирования

for k=Z1:Z2;
% ОУ==ПИТау==МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ ММС и КД по ВОЗМУЩ и УПРАВЛ ЗАГРУЗКОЙ
a1=0.85;b1=1;% b1=0.5...1.5
a18=a1;b18=b1;
a18=a1*(1+0.2/N*k); b18=b1*(1+0.2/N*k); % НЕСТАЦИОНАРНОСТЬ Коэфф =
20%
YZ=a18*Y(k-1)+b18*U(k-1); Y(k+np)=YZ/5.3;

```

```

k
Pid0(1:3)=PID(k-1,1:3);
[Popt,Eopt]=fminsearch(@fnotPID,Pid0);
%Ограничения на ПИД-коэффициенты
for tt=1:3;if Popt(tt)>5; Popt(tt)=5; end; if Popt(tt)<-5; Popt(tt)=-5; end; end;
U(k)=U(k-1)+Popt(1)*(EPS(k)-EPS(k-1))+Popt(2)*EPS(k)+Popt(3)*(EPS(k)-2*EPS(k-1)+EPS(k-2));%Управление для такта k+1
PID(k,1:3)=Popt(1:3); EPS(k+1)=Eopt;
end;

ESS(Z1:Z2)=Q(Z1:Z2)-Y(Z1:Z2); %Ошибка регулирования по выходу ОУ
Eabs1=norm(ESS(Z1:Z2))/(Z2-Z1+1)
Eabs2=sum(abs(ESS(Z1:Z2)))/(Z2-Z1+1)
Eotn1=norm(ESS(Z1:Z2))/norm(Q(Z1:Z2))
Eotn2=sum(abs(ESS(Z1:Z2)))/sum(abs(Q(Z1:Z2)))

% ВЫВОДЫ
figure;plot(Z1:Z2,[PID(Z1:Z2,1) PID(Z1:Z2,2) PID(Z1:Z2,3)]);grid;%Коэф
ПИД-Per
figure;plot(Z1:Z2,ESS(Z1:Z2));grid; % Вывод ошибки регулирования по ОУ
figure;plot(Z1:Z2,[Y(Z1:Z2)' YS(Z1:Z2)' U(Z1:Z2)'
Q(Z1:Z2)']);grid;%Выход +-1!!!
toc
title('Adaptive Control System');
legend('Plant output','AFA output','Control','Set-point');
%figure;plot(1:N2,EE(1:N2));grid;%title('Control Error');

function Emin=fPID(Pid)
global k; global U; global Q;global AFA; global MP;global EPS;
U(k)=U(k-1)+Pid(1)*(EPS(k)-EPS(k-1))+Pid(2)*EPS(k)+Pid(3)*(EPS(k)-2*EPS(k-1)+EPS(k-2));%Управление для такта k+1
UBx1(1:MP)=U(k-MP:k-1);UBx1(MP+1)=U(k);
YYS=sim(AFA,UBx1');
Emin=abs(Q(k+1)-YYS);

function Emin=fnotPID(Pid)
global k; global U; global Q;global EPS; global Y;
U(k)=U(k-1)+Pid(1)*(EPS(k)-EPS(k-1))+Pid(2)*EPS(k)+Pid(3)*(EPS(k)-2*EPS(k-1)+EPS(k-2));%Управление для такта k+1
a1=0.85;b1=1;% b1=0.5...1.5
a18=a1;b18=b1;
%a18=a1*(1+0.2/N*i); b18=b1*(1+0.2/N*i); % НЕСТАЦИОНАРНОСТЬ Коэфф =
20%
YZS=a18*Y(k)+b18*U(k); YYS=YZS/5.3;
Emin=abs(Q(k+1)-YYS);

function Emin=fnotPIDeno(Pid)
global k; global U; global Q;global EPS;global Y; global a1;
U(k)=U(k-1)+Pid(1)*(EPS(k)-EPS(k-1))+Pid(2)*EPS(k)+Pid(3)*(EPS(k)-2*EPS(k-1)+EPS(k-2));%Управление для такта k+1
a1=1.8;b1=0.1;% b1>0 <1; a1=0...2; тау=1
a17=a1;b17=b1;ud.N=256;
%a17=a1*(1-0.1/ud.N*k); b17=b1*(1-0.1/ud.N*k); % НЕСТАЦИОНАРНОСТЬ
параметров 10%
YYS=1-a17*(U(k))^2-b17*Y(k);
Emin=abs(Q(k+1)-YYS);

```

```

function Emin=fnotPIDPI2(Pid)
global k; global U; global Q;global EPS;global Y;
U(k)=U(k-1)+Pid(1)*(EPS(k)-EPS(k-1))+Pid(2)*EPS(k)+Pid(3)*(EPS(k)-
2*EPS(k-1)+EPS(k-2));%Управление для такта k+1
a2=0.085;b2=0.4;c22=0.1;d2=0.5;f2=0.1; % f2=0?????! d2>0; tay=1
a28=a2;b28=b2;c28=c22;d28=d2;f28=f2;N=256;
a28=a2*(1+0.1/N*k); b28=b2*(1+0.1/N*k); c28=c22*(1+0.1/N*k);
d28=d2*(1+0.1/N*k); f28=f2*(1+0.1/N*k);
% НЕСТАЦИОНАРНОСТЬ Коэфф = 10%
YZ=a28*Y(k)+b28*U(k)-c28*U(k-1); YYS=(-d28*(YZ)^2+f28)*10;
Emin=abs(Q(k+1)-YYS);

```


Оцінка ефективності АСУ технологічним процесом ККД

```

%=Broadband component=AR process order 1
ud.N=256; ud.Nfft=256;f = linspace(-1,1-1/ud.Nfft,ud.Nfft);
%Use the impulse response of the all pole filter for the theoretical
ARPSD
a = -.850848; noisevar = (1-a^2)/10^(0.1);
Par = periodogram(impz(1, [1 a], ud.N), [], 'twosided', ud.Nfft);
noisepsd = noisevar*abs(freqz(1, [1 a], ud.Nfft, 'whole')).^2;

figure;plot(f,10*log10(fftshift(Par+noisepsd)),'k','LineWidth',2);grid;
[Pt,T]=impz(1, [1 a], ud.N);figure;plot(T,Pt);grid;N=ud.N;

% ЗАДАНИЕ _ СТУПЕНЬКИ (ХЕВИСАЙД)
for i=1:N;
    Q(i)=0.5;%Гамма=50%
    if i-80>0;Q(i)=0.7;end;%Гамма=58%
    if i-110>0;Q(i)=0.5;end;%Гамма=50%
    if i-180>0;Q(i)=0.6; end;%Гамма=54%
end;
figure;plot(1:N,Q(1:N));grid;%ЗАДАНИЕ ГАММА==временной сигнал
(0+1)!
%p=Q;n=N; r2=rxx_(p,n); % Вычисление АвтоКорр Ф-ции и СпектрПлотн

% КРЕПОСТЬ _ ПОЛОСОВОЙ АВТОРЕГРЕСС
nvar=0.1;%Шум измерений
randn('state',0); X2(1:ud.N)=0;
M17=1000; %Кол-во усреднений в Монте-Карло
for i=1:M17;
X1=randn(1,ud.N); X2(1:ud.N)=X2(1:ud.N)+X1(1:ud.N);
end;
X2=X2/M17; A(2:ud.N)=0; A(1)=0.00000000001; y1=filter(Pt,A,X2);
B22=[0.00000657 0.00002631 0.00003947 0.00002631 0.00000657];
%Fc=0.5 Hz
A22=[1.000000 -3.72641 5.21605 -3.250018 0.76049];
B22=B22.';Y1=filter(B22,A22,y1);randn('state',0);%СТАРТ ИЗ ОДНОЙ
ТОЧКИ
fn=(Y1(1:ud.N)/max(abs(Y1))+nvar*randn(size(Y1))+1);fn=fn/(max(fn));
figure;plot(1:ud.N,fn);grid;%Крепость (авторегресс времен) сигнал
(0+1)!
p=fn;n=N; r2=rxx_(p,n); % Вычисление АвтоКорр Ф-ции и СпектрПлотн

% КРУПНОСТЬ _ ПОЛОСОВОЙ АВТОРЕГРЕСС
nvar=0.1;%Шум измерений
randn('state',0); X2(1:ud.N)=0;
M17=1000; %Кол-во усреднений в Монте-Карло
for i=1:M17;
X1=randn(1,ud.N); X2(1:ud.N)=X2(1:ud.N)+X1(1:ud.N);
end;
X2=X2/M17; A(2:ud.N)=0; A(1)=0.00000000001; y1=filter(Pt,A,X2);
B22=[0.00482434 0.019229737 0.028946 0.019229737 0.00482434]; %Fc=3
Hz
A22=[1.000000 -2.369513 2.313988 -1.054665 0.187379];
B22=B22.';Y1=filter(B22,A22,y1);randn('state',0);%СТАРТ ИЗ ОДНОЙ
ТОЧКИ

```

```

dn=(Y1(1:ud.N)/max(abs(Y1))+nvar*randn(size(Y1))+1);dn=dn/(max(fn))/2;
figure;plot(1:ud.N,dn);grid;
%КРУПНОСТЬ (авторегресс времен) сигнал (0+1)!
p=dn;n=N; r2=rxx_(p,n); % Вычисление АвтоКорр Ф-ции и СпектрПлотн
%=====
==
%+++++
++

tic%!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
np=3; % Глубина прогноза (Задержка tau=np-1)
KN=34;% Кол-во нейронов в скрытом слое
% ОГРАНИЧЕНИЯ
gmin=160;gmax=240;qS=49.6;gS=204.4;
gn(1:N)=(gS-gmin)/(gmax-gmin);qam(1:N)=qS;qn(1:N)=(qS-
30)/40;;%МАСШТАБИРОВАНИЕ
% Обнулить массивы переменных
gg=0.1*randn(size(gn));gn=gn+gg;
for ii=1:N;qnS(ii)=0;Eopt(ii)=0;qnSopt(ii)=0;Eps(ii)=0;gdif(ii)=0;end;
Kg=-0.65;%Коэффициент дифф целевой функции Ляпунова
RMin(1:10)=0; RMax(1:10)=1;% Диапазон управления
MOD=newcf([RMin' RMax'],[KN 1],{'logsig' 'purelin'}); %Формир НС МОДЕЛИ
Z1=11;Z2=250;%Диапазон времени регулирования

for k=Z1:Z2;

% REAL-TIME МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ ККД по ВОЗМУЩ и УПРАВЛ (НеЛин Кон-Разн ур-
e)
c0=0.13;c1=0.186;c2=0.032;c3=0.0971;c4=0.0531;c5=0.337;c6=0.000149;
c7=0.0000118;d(k)=dn(k)*200+130; f(k)=fn(k)*15+4;
g(k)=gn(k)*(gmax-gmin)+gmin;c41=c4;c61=c6;c71=c7;
%c4=c41*(1+0.2/N*k); c6=c61*(1+0.2/N*k); c7=c71*(1+0.2/N*k); %
НЕСТАЦИОНАРНОСТЬ Коэфф = 20%
qam(k+np)=c0+(c1+c7*d(k)*f(k))*qam(k)-c2*qam(k-
1)+c3*g(k)+c4*d(k)+c5*f(k)+c6*d(k)*g(k-1);
qn(k+np)=(qam(k+np)-30)/40;
%end;
%figure;plot(1:N,qam(1:N));grid; %Выход процесса
%figure;plot(1:N,qn(1:N));grid; %Выход нормир процесса
k
%ФОРМИРОВАТЬ Вход NN MOD
Vx=[dn(k) dn(k-1) fn(k) fn(k-1) gn(k) gn(k-1) qn(k) qn(k-1) 0 0];
[MOD,qnS(k+np),ER(k)]=adapt(MOD,Vx',qn(k+np)); %АДАПТАЦИЯ МОДЕЛИ
%end;
%figure;plot(Z1:Z2,[qn(Z1:Z2)' qnS(Z1:Z2)' gn(Z1:Z2) '
Q(Z1:Z2)'] );grid;%Выход +-1!!!
Eps(k+1)=qnS(k+np)-Q(k+1);
if (gn(k)-gn(k-1))==0
gdif(k+1)=0;
else
gdif(k+1)=Kg*(Eps(k+1)-Eps(k))/(gn(k)-gn(k-1));%Управление (скорость)
end;
gn(k+1)=gn(k)+gdif(k+1); %Координата Управление для такта k+1
if gn(k+1)<0
gn(k+1)=0;
elseif gn(k+1)>1
gn(k+1)=1;

```

```

end;
if (gn(k+1)-gn(k-5))==0
    gn(k+1)=gn(k+1)+gg(k+1);% Регуляризация управления
end;
end;
ESS(Z1:Z2)=Q(Z1:Z2)-qn(Z1:Z2); %Ошибка регулирования по выходу ОУ
Eabs1=sqrt(norm(ESS(Z1:Z2))/(Z2-Z1+1))
Eabs2=sum(abs(ESS(Z1:Z2)))/(Z2-Z1+1)
Eotn1=norm(ESS(Z1:Z2))/norm(Q(Z1:Z2))
Eotn2=sum(abs(ESS(Z1:Z2)))/sum(abs(Q(Z1:Z2)))
% ВЫВОДЫ
figure;plot(Z1:Z2,gdif(Z1:Z2));grid;
% Вывод ошибки регулирования по ОУ
figure;plot(Z1:Z2,Eps(Z1:Z2));grid;

% Вывод ошибки регулирования по АФА
figure;plot(Z1:Z2,ESS(Z1:Z2));grid;

% Вывод ошибки регулирования по ОУ
figure;plot(Z1:Z2,[qn(Z1:Z2) '          qnS(Z1:Z2) '          gn(Z1:Z2) '
Q(Z1:Z2) ']);grid;%Выход +-1!!!
g=gn*(gmax-gmin)+gmin;qamS=qnS*40+30;Qam=Q*40+30;
figure;plot(Z1:Z2,[qam(Z1:Z2) '          qamS(Z1:Z2) '          g(Z1:Z2) '
Qam(Z1:Z2) ']);grid;%Выход
toc%!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

title('Adaptive Control System');
legend('Plant output','MOD output','Control','Set-point');
%figure;plot(1:N2,EE(1:N2));grid;%title('Control Error');

```

ВІДГУК

на дипломну роботу магістра на тему:

«Удосконалення підсистеми синтезу оптимального керування для АСУ процесом крупного дроблення руд»

студента групи 122м-16-1 Мельничука Дмитра Володимировича

1. Ціллю даної дипломної роботи магістра є удосконалення підсистеми синтезу адаптивного оптимального керування для автоматизованої системи управління процесом ККД з прогнозуючої моделлю.
2. Актуальність даної теми зумовлена наявністю значних недоліків у традиційних підходах до управління АСУ процесом ККД.
3. Тема дипломної роботи безпосередньо пов'язана з об'єктом діяльності магістра спеціальності 122 Комп'ютерні науки.
4. Наукова новизна отриманих результатів полягає у вирішенні завдання синтезу оптимального управління процесом ККД, що здійснюється в ході функціонування АСУ за принципом мінімуму узагальненої роботи на змінному інтервалі оптимізації із залученням інформації про стан керованого процесу до нового інтервалу оптимізації і його майбутнього стану за прогнозуючою моделлю, що дозволяє спростити рішення задачі синтезу для нелінійного процесу ККД і компенсувати збурення.
5. Оригінальність технічних рішень при розробці полягає в використанні зв'язки таких інструментальних засобів як SCADA SIMATIC WinCC V6 – Siemens та мови програмування MatLab.
6. Практична цінність отриманих результатів полягає в розробці алгоритму адаптивного оптимального управління процесом ККД, що включає процедури оцінки стану керованого процесу, ідентифікації його прогнозуючої моделі, прогнозування руху процесу, а також синтезу оптимального управління, що дозволяє реалізувати АСУ процесом ККД.
7. Оформлення дипломної роботи магістра виконано на сучасному рівні і відповідає вимогам, що пред'являються до робіт даної кваліфікації. Ступінь самостійності виконання досить висока.
8. Дипломна робота магістра в цілому заслуговує оцінки «відмінно», а сам автор - присвоєння кваліфікації «інженер з комп'ютерних систем».

Керівник дипломної роботи магістра
д.т.н. проф.

В.І. Корнієнко

РЕЦЕНЗІЯ

на дипломну роботу магістра на тему:

«Удосконалення підсистеми синтезу оптимального керування для АСУ процесом крупного дроблення руд»

студента групи 122м-16-1 Мельничука Дмитра Володимировича

У даній магістерській роботі описується та надає рішення проблемі підвищення ефективності автоматизованого управління процесами крупного дроблення і самоздрібнювання руд в умовах зміни їх динамічних режимів роботи та збуреного середовища.

Розв'язання полягає у визначенні закономірностей підвищення ефективності керування технологічними процесами шляхом синтезу і реалізації оптимального керування в ході функціонування систем керування на основі ідентифікації та прогнозування стану керованих процесів з контролем основних збурень.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в удосконаленні підсистеми синтезу оптимального управління процесом ККД, що здійснюється в ході функціонування АСУ за принципом мінімуму узагальненої роботи на змінному інтервалі оптимізації з прогнозом керованого процесу.

Студент Д.В. Мельничук достатньо добре розібрався у специфіці застосування різних інформаційних технологій: пакет прикладних програм для числового аналізу MATLAB та SCADA-система SIMATIC WinCC V6 – Siemens.

Беручи до уваги вище викладене, можна зробити висновок, що дана робота цілком відповідає вимогам, що пред'являються до кваліфікаційних робіт рівня магістра.

З огляду на наукову новизну і ступінь опрацювання компонентів даної роботи, в цілому автор заслуговує оцінки «відмінно», а також присвоєння кваліфікації «інженер з комп'ютерних систем».

Рецензент