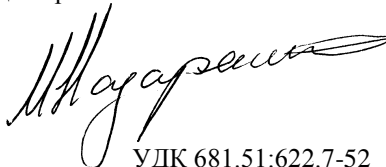


НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Назаренко Михайло Володимирович



УДК 681.51:622.7-52

ОПТИМАЛЬНЕ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ  
ЗАЛІЗОРУДНОГО КОМБІНАТУ НА ОСНОВІ ПРОГНОЗУ  
ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ПРИБУТКУ  
ПІДПРИЄМСТВА

Спеціальність 05.13.07 – автоматизація процесів керування

АВТОРЕФЕРАТ  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

Київ – 2010

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Криворізького технічного університету Міністерства освіти і науки України на кафедрі інформатики, автоматики і систем управління.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, ст. науковий співробітник  
**Ланкін Юрій Миколайович**, Інститут  
електрозварювання ім. Є.Ю. Патона НАН України,  
м. Київ, зав. відділом автоматичного регулювання  
процесів зварювання і нанесення покриттів

доктор технічних наук, професор  
**Ульшин Віталій Олександрович**,  
Східноукраїнський національний університет  
імені Володимира Даля, м. Луганськ, завідувач  
кафедри комп'ютеризованих систем;

доктор технічних наук, професор  
**Бойко Віталій Іванович**,  
Дніпродзержинський Державний технічний  
університет, завідувач кафедри електроніки.

Захист відбудеться «29» листопада 2010 р. о 14-30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.002.07 у Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут» 03056, м. Київ, пр. Перемоги, 37, корп. 18, к. 438.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» за адресою: 03056, м. Київ, пр. Перемоги, 37.

Автореферат розіслано «25» жовтня 2010 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

Л. С. Ямпольський

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** У сучасний період у гірничорудній промисловості України актуальним є питання підвищення якості залізорудної сировини, зниження її собівартості та відповідного збільшення прибутку підприємства. Гірничо-збагачувальний комбінат (ГЗК) є об'єктом з неповною інформацією, що складно піддається автоматизації. Конкретніше це пояснюється тим, що технологічні процес на ГЗК є багатофакторними із суттєвим рівнем випадковості. І, як наслідок, видобуток залізорудної сировини та її первинна переробка в сучасний період характеризується найменшим рівнем автоматизації.

Причини такого стану полягають у тому, що у практиці аналізу процесів управління досить поширене припущення про детермінованість технологічних процесів гірничорудного виробництва, їх ергодицистичність, але таке припущення досить обмежене. Це пов'язано з тим, що існують методи одержання моделей технологічних процесів як об'єктів автоматизації не настільки досконалі, щоб забезпечити їх адекватність; недостатньо розвинуті й завершені методики оцінки інтервалу квантування випадкових технологічних процесів для використання дискретних методів управління; регулятори технологічних процесів не завжди здатні адаптуватися до випадкових змін технологічних параметрів і, як правило, не враховують комплексних критеріїв якості кінцевої продукції, через що можливості існуючих систем управління процесами переробки та збагачення для цих умов практично обмежені. Це призводить до того, що протягом робочої зміни амплітуди коливань поточної собівартості концентрату сягає 20%, розрахункового прибутку – 30% від планових показників. Зменшення коливань параметрів технологічних процесів за рахунок їх оптимізації дозволить поліпшити показники кінцевої продукції, зокрема якість концентрату, собівартість та ін., що підвищить економічні показники підприємства в цілому. Але максимально досягти цього результату можливо лише за умов, коли технологічні процеси переробки і збагачення залізної руди, що відбуваються на різних технологічних комплексах, будуть представлені в цілому як єдиний процес, який підпорядкований одному критерію ефективності.

У зв'язку з цим наукові дослідження в області управління технологічними комплексами для побудови оптимальної автоматизованої системи управління процесами переробки та збагачення залізної руди на гірничо-збагачувальному комбінаті є актуальними.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** В основу дисертації покладено матеріали, які узагальнюють дослідження автора в рамках реалізації науково-дослідних та інжинірингових робіт, державних і галузевих програм і бізнес-проектів, які виконувались у Криворізькому технічному університеті, зокрема за госпдоговором №21-437-03 «Розробка алгоритмів для складання місячної програми гірничих робіт гірничо-збагачувального комбінату» (2003 р., РК №0103U007479); Криворізькому територіальному відділенні Міжнародної академії комп'ютерних наук і систем, підприємстві

«КРИВБАСАКАДЕМІНВЕСТ» на базі Інгулецького, Південного ГЗК та інших підприємств у відповідності до Закону України №2623-14 від 11.07.2001 «Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки»; Державної програми розвитку та реформування гірничо-металургійного комплексу на період до 2011 року, затвердженої Постановою Кабінету Міністрів України №967 від 28.07.2004 р. Тема дисертації відповідає науковому напрямку кафедри інформатики, автоматики та систем управління Криворізького технічного університету.

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є підвищення ефективності функціонування залізорудного гірничо-збагачувального комбінату шляхом побудови оптимальної системи управління технологічними процесами переробки та збагачення залізної руди з урахуванням нестационарності параметрів технологічних процесів.

Задачами досліджень є:

- оцінка режимів роботи технологічних комплексів гірничо-збагачувального комбінату й алгоритмів керування ними для побудови адекватних математичних моделей технологічних процесів видобутку та збагачення залізної руди в умовах випадкових змін технологічних параметрів і збурюючих факторів з використанням геоінформаційних систем родовищ корисної копалини;

- формування адаптивної моделі технологічних процесів перероблення та збагачення залізної руди як об'єкта керування на основі прогнозування технологічних показників з використанням методів регресійного аналізу, а також з урахуванням методів кластеризації й оновлення її на кожному інтервалі розрахунку;

- оптимізація технологічних параметрів перероблення та збагачення залізної руди для визначення уставок регуляторів технологічних процесів в умовах його нестационарності;

- одержання різницевих рівнянь динаміки технологічних процесів перероблення та збагачення залізної руди як об'єкту керування на основі рівняння Вінера-Хопфа і синтезу регулятора, адаптивного за структурою та параметрами, з використанням лише декількох значень кореляційних функцій на підставі концепції оновлення моделі об'єкту та регулятора на кожному інтервалі;

- формування системи автоматичного керування технологічними процесами перероблення та збагачення залізної руди як багатозв'язкової дискретної системи з використанням методу оберненого оператора, у якому додатково використовується зворотній зв'язок у вигляді програми, результатом роботи якої є оптимізація параметрів та структури регулятора.

Основна ідея роботи полягає в побудові оптимальної системи управління технологічними процесами переробки та збагачення залізної руди з урахуванням нестационарності параметрів технологічних процесів.

**Об'єктом дослідження** є процеси видобутку, переробки та збагачення залізної руди на гірничо-збагачувальному комбінаті.

**Предметами дослідження** є математичні моделі видобувних і переробних

процесів, кластеризація даних для створення адекватних моделей виробничих процесів, скорочення обчислень шляхом врахування лише кількох перших інтервалів кореляційних функцій, оптимізація уставок регуляторів, оцінка інтервалу дискретизації випадкових функцій, пов'язаних з технологічними процесами.

**Методи досліджень.** При попередньому відборі даних для створення математичних моделей були використані класичні методи кластеризації (розділ 2). Оптимізація уставок регуляторів технологічних процесів досягнута використанням відомих апробованих градієнтних методів, лінійного й нелінійного програмування з корекцією останніх (розділ 3). При створенні математичних моделей використані методи математичної статистики, кореляційні методи, визначення різницевої рівнянь з використанням рівняння Вінера-Хопфа, класичні методи багатозв'язних систем (розділ 4). Скорочення обчислень при формуванні дискретної моделі об'єкту управління здійснювалось шляхом урахування значень лише перших інтервалів кореляційних функцій (розділ 4). Розрахунки регуляторів технологічних процесів базувались на подальшому розвитку методу оберненого регулятора шляхом поширення його на багатозв'язні дискретні кореляційні моделі виробничих процесів (розділ 4). Оцінка інтервалу дискретизації технологічних процесів, який забезпечує задану точність одержання математичної моделі в разі, коли вхідні та вихідні дії є випадковими, проводилася з використанням апробованих методів спектрального аналізу функцій технологічних процесів (розділ 4).

### **Наукові положення та новизна отриманих результатів.**

1. Ідентифікація технологічних параметрів процесів переробки та збагачення залізної руди здійснюється з використанням математичної моделі, коефіцієнти якої оновлюються на кожному кроці алгоритму, причому вихідні дані для розрахунку поточних коефіцієнтів моделі вибираються як сукупності, вектори яких найбільш близько розташовані до вектора поточної ситуації та характеризуються найбільшими коефіцієнтами кореляції між вхідними й вихідними даними, а подальша оптимізація коефіцієнтів цієї моделі визначає уставки регуляторів автоматизованої системи управління для вибору раціональних режимів роботи процесів переробки та збагачення залізної руди.

2. Для побудови динамічної різницевої моделі процесів переробки та збагачення залізної руди на основі рівняння Вінера-Хопфа, а також розрахунку інтервалу дискретизації параметрів технологічних процесів на підставі його спектральних характеристик, достатньо використання обмеженої кількості значень кореляційних функцій параметрів технологічних процесів, які характеризують найбільш тісні зв'язки між вхідними та вихідними діями.

3. Уведення в контур управління додаткового зворотного зв'язку, що оптимізує коефіцієнти регулятора під час управління технологічними процесами переробки та збагачення залізної руди як багатозв'язною цифровою системою з використанням методу оберненого оператора, забезпечує суттєве зменшення похибки керування.

**Практичне значення отриманих результатів.** Запропоновані принципи оптимізації процесів переробки та збагачення залізної руди на ГЗК, математична модель цих процесів, методи оптимізації складу рудної шихти й раціональних параметрів процесів переробки та збагачення залізної руди знайшли відображення у створених автором методиках: методиці оцінки параметрів для вибору способу управління систем з випадковими збуреннями в умовах гірничо-збагачувального комбінату для збільшення його прибутку при випуску кінцевого продукту (передана інституту «Механобрчермет», м. Кривий Ріг, науково-виробничій корпорації «Київський інститут автоматики»); методиці автоматизованого розрахунку й аналізу собівартості функціонування дільниць дробильної фабрики, а також її розподілення між дільницями дробильної фабрики, РЗФ-1, РЗФ-2 ІнГЗК (затверджена й передана Інгулецькому ГЗК); методиці розрахунку й оптимізації транспортних магістралей при вивозі викривних порід автомобільним транспортом з кар'єру ІнГЗК (затверджена й передана Інгулецькому ГЗК); методиці крізного планування виробничих показників основних цехів ВАТ ІнГЗК (затверджена й передана Інгулецькому ГЗК).

Окремі матеріали роботи використані ІнГЗК при виконанні НДР: №1-94 «Розробка технічного завдання на нову технологію селективного видобутку руди і системи контролю і керування при транспортуванні і переробці гірського матеріалу» (1994-1998 рр.); №2184-23 «Створення системи автоматизованого управління роботою технологічних відділів дробильної фабрики ІнГЗК» (1999 р.); №1263 «Створення геоінформаційної системи для роботи відділів руднику ВАТ «ІнГЗК» (2000 р.); №1672-34 «Розробка автоматизованої системи управління роботою кар'єру ІнГЗК» (2000 р.); №2462-34 «Створення системи автоматизованого управління роботою технологічних відділів рудозбагачувальної фабрики №1 ІнГЗК» (2001 р.); №1284-06С «Розробка автоматизованої системи крізного планування виробничої діяльності основних цехів ІнГЗК (кар'єр, ДФ, ЦТА, ЖДЦ, РЗФ-1, РЗФ-2)» (2003 р.); №21-437-03 «Розробка алгоритмів для складання місячної програми гірничих робіт гірничо-збагачувального комбінату» (2003 р., РК №0103U007479); №466а «Розробка технічного завдання на впровадження геоінформаційної системи рудоуправління ВАТ «Південний ГЗК» (2005 р.).

Матеріали дисертаційної роботи використані при складанні навчальних робочих планів для студентів Криворізького технічного університету спеціальностей 6.091500 «Комп'ютерні системи та мережі», 7.091401 «Системи управління та автоматики», 7.010104 «Професійне навчання», спеціалізація – «Комп'ютерні технології в управлінні та освіті».

**Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій** підтверджуються коректністю поставлених завдань, використанням достовірних методів теорії автоматичного управління, дослідження операцій; застосуванням апробованих та достатньо надійних методів математичної статистики, кореляційного, регресійного, спектрального аналізу, накопиченням експериментальних даних при проведенні пасивного

експерименту на ІнГЗК в період з 1995 по 2009 р.; безпосереднім порівнянням результатів моделювання технологічних процесів переробки та збагачення з результатами експериментальних даних, розбіжність між якими не перевищує 5%; численними підтвердженнями результатів моделювання; позитивними результатами впровадження досліджень і розробок у виробництво.

**Наукове значення роботи** полягає в наступному:

- побудована математична модель технологічних процесів переробки та збагачення залізної руди змінної структури, яка, на відміну від існуючих, ураховує нестационарність цих процесів й полягає в оновленні параметрів моделі на кожному кроці керування, причому вихідні дані для розрахунку поточних коефіцієнтів моделі вибираються як сукупності, вектори яких найбільш близько розташовані до вектора поточної ситуації та характеризуються найбільшими коефіцієнтами кореляції між вхідними та вихідними параметрами з метою усунення впливу даних (інваріантності), які не відповідають поточному стану об'єкту керування;

- побудована динамічна різницева модель процесів переробки та збагачення залізної руди на основі рівняння Вінера-Хопфа, особливість якої полягає у використанні обмеженої кількості значень кореляційних функцій технологічних параметрів процесів, що практично не знижує точності розрахунків моделі й скорочує обчислення кореляційних функцій та відповідно керуючих дій;

- розроблена багатозв'язна цифрова система управління технологічними процесами переробки та збагачення залізної руди, яка базується на використанні методу оберненого оператора й відрізняється додатково введенням зворотним зв'язком у вигляді програми, результатом роботи якої є визначення коефіцієнтів кореляційної моделі об'єкту та їх оптимізація, що зменшує похибку керування;

- розроблений удосконалений варіант вирішення задачі математичного програмування з урахуванням концепції оновлення моделі на кожному кроці розрахунку, який використовується для розрахунку уставок регуляторів системи автоматичного керування процесами переробки та збагачення залізної руди в умовах їх нестационарності, що виключає можливість зациклення алгоритму оптимізації або вихід за область пошуку оптимуму, які можуть виникати в традиційних методах.

**Особистий внесок здобувача** полягає у формулюванні та вирішенні наукової проблеми розвитку управління технологічними комплексами залізрудного ГЗК та побудови оптимальної автоматизованої системи управління процесами переробки та збагачення залізної руди з урахуванням нестационарності параметрів технологічних процесів, що включає в себе розробку адаптивної моделі управління технологічними процесами переробки та збагачення залізної руди, яка дозволяє враховувати головні параметри технологічних процесів або будь-яку їх підмножину; уточнення оцінки інтервалу дискретизації випадкових процесів; формування закономірностей управління процесами переробки та збагачення корисних копалин на основі

суміщення управління й ідентифікації одночасно на кожному кроці управління із застосуванням удосконаленого методу вирішення задачі математичного програмування, який здійснює пошук оптимального рішення в усій області обмежень змінних технологічних процесів; формування моделі передаточної функції об'єкту керування, а також різницевих рівнянь в умовах випадкових збурюючих факторів для адаптивного управління на основі використання рівняння Вінера-Хопфа, що дає змогу одержати модель процесів без втручання в його хід і врахувати можливі запізнення з використанням лише декількох перших значень кореляційних функцій на початкових інтервалах, що приводить до зменшення кількості обчислень.

**Апробація результатів роботи.** Основні положення дисертаційної роботи доповідалися й одержали схвалення на 35 науково-технічних конференціях, семінарах, де були зроблені 41 доповідей, зокрема на нараді «Приборы, средства и системы автоматизации технологических процессов при дроблении и обогащении руд» (22 жовтня 1998 р., м. Кривий Ріг), науковій конференції «Качество-98» (3-4 червня 1998 р., м. Кривий Ріг); 5-й Українській конференції з автоматичного управління «Автоматика-98» (13-16 травня 1998 р., м. Київ); Міжнародній науково-технічній конференції «Компьютерные технологии в обучении, научных исследованиях и промышленности» (15-16 жовтня 1998 р., м. Дніпропетровськ); Міжнародній науково-практичній конференції «Современные проблемы и перспективы развития горной механики» (19-21 квітня 1999 р., м. Дніпропетровськ); 5-й Міжнародній науково-практичній конференції «Контроль і управління в складних системах» (3-5 лютого 1999 р., м. Вінниця); 6-й Українській конференції з автоматичного управління «Автоматика-99» (10-13 травня 1999 р., м. Харків); нараді «Вопросы автоматизации и контроля технологического процесса на рудообогатительных фабриках и возможность их комплектации контрольно-измерительными приборами отечественного изготовления» (2 жовтня 2001 р., м. Кривий Ріг); 3-му Міжнародному симпозіумі «Качество-2002» (30 жовтня – 1 листопада 2002 р., м. Кривий Ріг); семінарі «Щодо досвіду застосування цифрових технологій виробництва маркшейдерських робіт на гірничо- та нафтогазовидобувних підприємствах» (18-22 березня 2002 р., м. Кривий Ріг); I, II, III, IV Міжнародних науково-практичних конференціях «Проблемы и перспективы использования геоинформационных технологий в горном деле» (1999, 2000, 2001, 2002, м. Дніпропетровськ); Міжнародній науково-технічній конференції «Інтегровані системи управління в гірничо-металургійному комплексі» ( 2004, 2005, 2006, 2008, 2009, м. Кривий Ріг); Міжнародній науково-практичній конференції «Розробка систем програмного забезпечення: виклики часу та роль у інформаційному суспільстві» (27-28 січня 2005 р., м. Київ); семінарі «Стан та перспективи використання вітчизняних геоінформаційних систем на підприємствах гірничого профілю» (13-15 грудня 2005 р., м. Кривий Ріг); Міжнародній конференції «Геоінформатика: теоретичні та прикладні аспекти» ( 2006, 2008, 2009., м. Київ); Міжнародній науково-технічній конференції «Сталий розвиток гірничо-металургійної промисловості»



(2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, м. Кривий Ріг); «Форумі гірників – 2002» (16-19 жовтня 2002 р., м. Дніпропетровськ), Міжнародній конференції «Ті-2009 в СНД», 2009, м. Одеса, 10-й міжнародному симпозіумі «Освоение месторождений минеральных ресурсов и подземное строительство в сложных гидрогеологических условиях», 2009, м. Белгород, Росія.

**Публікації.** За темою дисертаційної роботи опубліковано 36 наукових праць, з яких 31 робота у фахових виданнях, 2 монографії, 1 патент, 2 свідоцтва авторського права на наукові твори.

**Структура й обсяг роботи.** Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, додатків, списку використаних джерел з 270 найменувань; викладена на 369 сторінках друкованого тексту, що включають 306 сторінки основного тексту, додатки на 63 сторінках, ілюстрована 97 рисунком, містить 19 таблиць.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовані мета, ідея й задачі досліджень, наукова новизна й практичне значення отриманих результатів, наведені наукові положення, що виносяться на захист, наукове та практичне значення роботи, дані про публікації, апробації й упровадження розробок і результатів дослідження.

**У першому розділі** проводиться обґрунтування наукових положень роботи й обраного напрямку досліджень, наведено результати інформаційного пошуку за тематикою дослідження, аналіз існуючих методів керування технологічними процесами, наводиться постановка наукової проблеми та задач дослідження.

Суттєвим фактором складних виробничих процесів є випадковість значень технологічних параметрів функціонування, яку пропонується враховувати в роботах Б. І. Мокіна, О. М. Марюти, Ю. Г. Качана, В. О. Бунька й ін. Суміщення технологічних пристроїв з приладами вимірювання технологічних параметрів, вибору оптимальних уставок регуляторів технологічних параметрів – у роботах Є. В. Кочури, адаптивне управління процесів подрібнення і класифікації руд – у роботах В. С. Моркуна, розвиток імітаційних моделей процесів збагачення – у роботах В. П. Хорольського. Необхідно відзначити також внесок робіт В. О. Ульшина, Б. Б. Зобніна, В. З. Козіна в розвиток системного аналізу та оптимізації процесів збагачення.

Однією з найбільших перешкод при створенні математичних моделей і систем керування процесами переробки та збагачення залізної руди на ГЗК є нестабільний характер технологічних параметрів: вмісту заліза загального, магнетитового в руді, продуктивності технологічних комплексів, якості дроблення, помелення руди, витрат електроенергії, води та ін. І як наслідок, відбувається коливання кількості заліза в концентраті, хвостах, виходу, витягу концентрату й інших показників. На рис. 1 наведені позмінні коливання окремих технологічних параметрів роботи комбінату. Змінення цих показників є досить нестабільним. Дослідження роботи рудника, дробильної фабрики,

збагачувальних фабрик ІнГЗК показали, що близько половини часу роботи їх продуктивність відрізняється від розрахункової, а амплітуда коливань продуктивності сягає 50 % від розрахункової. Коливання витрат електроенергії на збагачення варіюється від секції до секції з амплітудою відхилення близько 30 % від розрахункових.

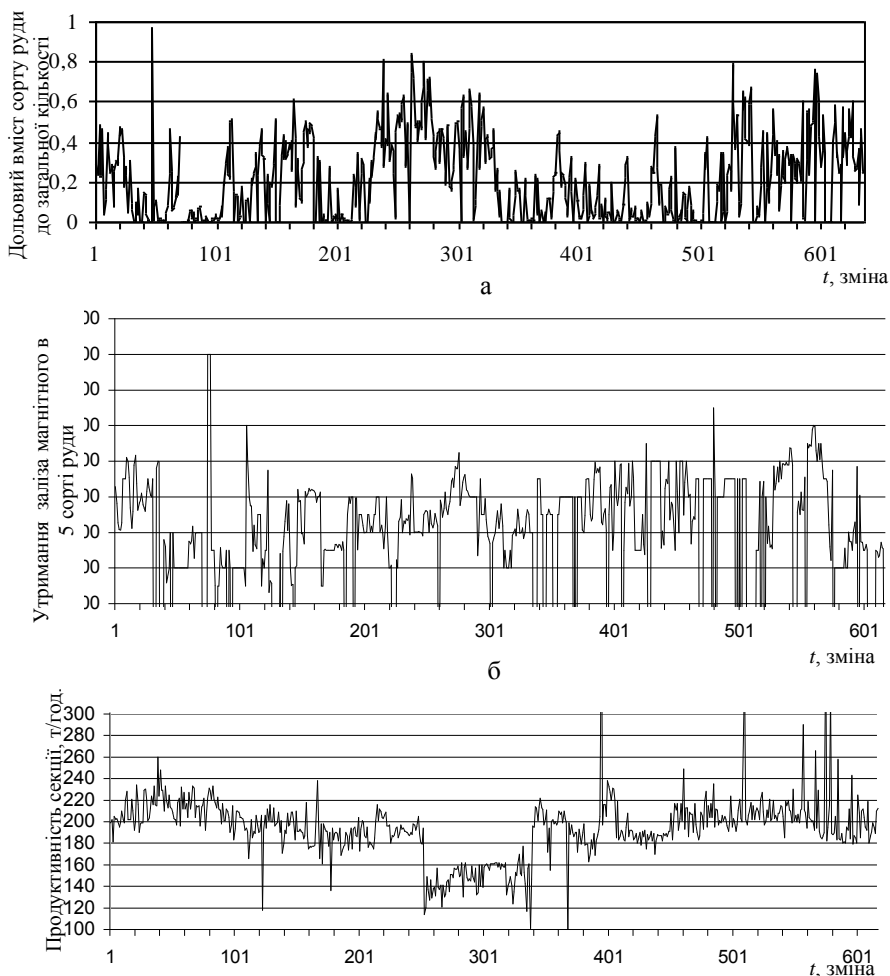


Рис. 1. Коливання технологічних параметрів роботи ГЗК:

- а – залежність питомого вмісту п'ятого мінерального різновиду руди в часі;
- б – залежність утримання заліза магнітного в п'ятому різновиді руди в часі;
- в – залежність продуктивності секції збагачення в часі

Існують різні підходи до створення математичних моделей таких процесів. Це класичні статистичні методи одержання алгебраїчних моделей, серед яких

можна відзначити відомий метод МГУА перебору моделей, який дозволяє обирати оптимальну модель із заданого класу і є ефективним при вирішенні низки задач. Але в різних публікаціях цього напрямку визнається необхідність перерахунку моделі в разі зміни параметрів процесів навіть у менших, ніж зазначено раніше.

В останні роки розвивається перспективний напрямок використання нейронних мереж та нечіткої логіки, асоціативної пам'яті, що дозволяє обійтись без вивчення фізичного змісту процесів. Поєднання в теорії нейронних мереж і нечіткої логіки класичних та інноваційних підходів є перспективним.

Однак деякі теоретичні питання цього напрямку не вирішені до тієї міри, щоб бути сформульованими у вигляді методики синтезу алгоритмів керування. Складність одержання математичних моделей процесів переробки та збагачення залізної руди пов'язана також з проблемою коректності даних, що використовуються для розрахунку. Багатофакторність технологічних процесів зумовлює залучення великих вибірок даних для побудови моделей, однак відомо, що це не завжди дає позитивний ефект, оскільки дані з часом можуть втрачати свою актуальність і призводити до зростання помилки. Це потребує проведення кластеризації вихідних даних для підбору найбільш значущих, на підставі яких розраховуються математичні моделі виробничих процесів. У роботі автором використовувався асоціативний відбір за ознакою близькості вихідних даних до технологічної ситуації, що моделюється. Одночасно враховувався ступінь тісноти лінійних зв'язків між вхідними й вихідними даними вибірки, на підставі якої проводилось формування математичної моделі. Це дозволило спростити математичний вигляд моделей при розрахунках, але обмежити області допустимих змін вхідних параметрів, при яких ці моделі залишаються адекватними, що обумовило проведення перерахунків моделей на кожному новому інтервалі розрахунків і привело до появи наукового положення.

Найбільш відомим фундаментальним підходом до побудови динамічної моделі об'єкта керування, який функціонує в умовах випадкових впливів, є використання рівняння Вінера-Хопфа, яке містить відповідні кореляційні функції. Для переходу від рівняння Вінера-Хопфа до передаточних функцій і далі до різницевих рівнянь необхідно запровадити перетворення Лапласа до виразів кореляційних функцій. Для цього потрібно виконати операцію інтегрування в неперервному просторі або підсумовування значень кореляційних функцій у безкінечних межах у дискретному просторі. У той же час при створенні оновлюваної на кожному кроці моделі управління важливі лише значення автокореляційної функції вхідного сигналу та взаємкореляційної функції між вхідним та вихідним сигналами на кількох перших інтервалах як характеристики лінійного зв'язку між цими сигналами саме на цих інтервалах.

Такі міркування створили умови до появи наукового положення про достатність урахування лише кількох перших значень кореляційних функцій

при одержанні різницевих рівнянь моделей виробничих процесів.

У системах управління найбільш поширені й мають певні позитивні якості структури П-, ПІ-, ПІД-регуляторів. Але вибір їх параметрів у відповідності до структури й параметрів моделі об'єкта керування вимагає використання достатньо складних методик. Інтегральні ланки в складі регулятора ініціюють коливальні складові процесу, що часто є небажаним. Окрім того, ці регулятори потребують постійних перенастроювань коефіцієнтів у ході зміни технологічного процесу.

У багатозв'язних системах також недостатньо використані можливості методу оберненого регулятора. Такий регулятор позбавляє коливань, є достатньо простим, адже рівняння регулятора практично можна одержати з рівняння моделі об'єкта, вважаючи вхідні дії вихідними й навпаки, і гармонійно сполучається з багатозв'язною моделлю об'єкта керування.

Ураховуючи випадковість змін параметрів моделей технологічних процесів, у систему управління додатково програмно вводиться зворотній зв'язок, результатом чого є визначення коефіцієнтів кореляційної моделі об'єктів.

У другому розділі проведений детальний статистичний аналіз процесів переробки та збагачення руди як об'єктів автоматизації, розглянуті конкретні можливі форми моделей виробничих процесів.

Аналіз показників роботи рудозбагачувальних та дробильної фабрик ІнГЗК протягом тривалого періоду показав, що вони змінюються в суттєвих межах і не завжди підпорядковуються нормальному закону розподілення. Крім того, виявлено, що залежності математичного очікування та дисперсії не є постійними навіть після їх усереднення на різних часових інтервалах. Таким чином, виробничі процеси за таких умов не є стаціонарними. Ілюстрація деяких залежностей означеного вигляду подана на рис. 2 та 3. На рис. 2 наведені функції розподілення значень питомого вмісту 5-го сорту в рудній шихті, що надходить на переробку.

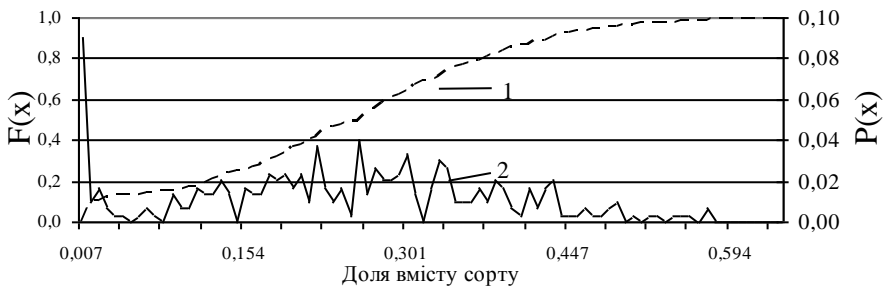


Рис. 2. Функція розподілення вірогідності  $F(x)$  та щільність розподілення вірогідності  $P(x)$  питомого вмісту 5-го технологічного сорту в рудній шихті:

1 – функція розподілення вірогідності  $F(x)$ ; 2 – щільність розподілення вірогідності  $P(x)$ .

На горизонтальній вісі наведений дольовий вміст 5-го сорту руди до загальної кількості, що була подана на переробку. На вертикальній вісі наведені відповідні значення щільності вірогідності та вірогідності появи цього сорту в рудній шихті. На рис. 3 представлений графік дисперсії цього ж параметру. Розрахунки статистичних величин проводились для різних часових періодів і з різними інтервалами усереднення.

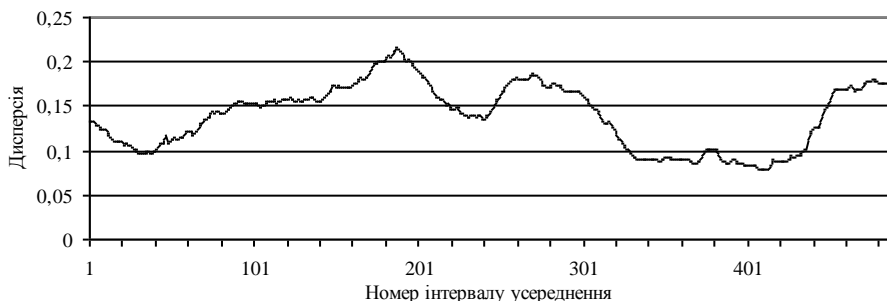


Рис. 3. Дисперсія питомого вмісту 5-го технологічного сорту в рудній шихті

Проведені статистичні розрахунки довели, що процеси, які розглядаються в роботі, не є стаціонарними. Зроблено висновок, що не можна поширювати параметри й структуру математичної моделі в часі більше, ніж на кілька наступних кроків, а статистичну модель необхідно постійно поновлювати. Причому поновлення моделі повинно відбуватися на кожному інтервалі дискретизації процесу.

У результаті була сформована математична модель прогнозування технологічних показників процесів переробки та збагачення залізної руди гірничо-збагачувального комбінату. Середня похибка прогнозування складає менше 1%. Таку модель можна використовувати для визначення уставок регулятора на наступний крок керування. Розрахунок керуючої дії виконується за допомогою динамічної моделі у вигляді різницевого рівняння, одержаного зі співвідношення Вінера-Хопфа. Детальна інформація про це наведена в четвертому розділі.

Для формування математичної моделі вхідними параметрами виступають 8 мінеральних різновидів (сортів) залізних руд, що є технологічними, переробляються і збагачуються на ІГЗК; вміст в них заліза загального та магнітного; продуктивність секцій збагачення; вміст класу +20 мм та +75 мм в дробленій руді, питомі витрати електроенергії, води на збагачення; вміст класу – 44 мкм в концентраті та інші. Ці параметри утворюють вектор стану системи  $\bar{x} = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ , де  $m$  – кількість вихідних параметрів.

Моделі будувались як у простому вигляді, коли вплив кожного з вхідних параметрів на вихідний апроксимовувався у вигляді лінійних, параболічних

функцій, так і в більш складному, коли враховувався вплив парних комбінацій вхідних параметрів на вихідну величину. У такому випадку вони мають вигляд:

$$\begin{aligned}
 F_{3a2} = & a_0 + a_1 C_{11} + a_2 C_{21} + a_3 C_{31} + a_4 C_{41} + a_5 C_{51} + a_6 C_{61} + a_7 C_{71} + a_8 C_{81} + a_9 F_{11} + \\
 & + a_{10} F_{21} + a_{11} F_{31} + a_{12} F_{41} + a_{13} F_{51} + a_{14} F_{61} + a_{15} F_{71} + a_{16} F_{81} + a_{17} F_{M11} + a_{18} F_{M21} + \\
 & + a_{19} F_{M31} + a_{20} F_{M41} + a_{21} F_{M51} + a_{22} F_{M61} + a_{23} F_{M71} + a_{24} F_{M81} + a_{25} Q_{11} + a_{26} C_{(+20)11} + a_{27} E_{11} + \\
 & + a_{28} \varphi_{11} + a_{29} F_{M71} + a_{30} \Pi_{11} + a_{31} K_{\epsilon} + a_{32} C_{11} C_{21} + a_{33} C_{11} C_{31} + \dots + a_{59} C_{11} K_{\epsilon} + \\
 & + a_{60} C_{21} C_{31} + a_{61} C_{21} C_{41} + \dots + a_{462} C_{21} K_{\epsilon} + a_{463} \varphi_{11} \Pi_{11} + a_{464} \varphi_{11} K_{\epsilon} + a_{465} \Pi_{11} K_{\epsilon}, \quad (1)
 \end{aligned}$$

де  $C_{11}, C_{21}, \dots, C_{81}$  – вміст відповідно 1, 2, ..., 8 сорту залізної руди у вантажопотоці, який надходить на переробку, відносні одиниці;  $Q_{11}$  – продуктивність секції, т/год.;  $C_{(+20)}$  – вміст класу +20 мм у вантажопотоці, %;  $E_{11}, \varphi_{11}$  – питомі витрати електроенергії й води на збагачення відповідно, кВт\*год./т, м³/т;  $\Pi_{11}$  – вміст класу –44 мкм у концентраті (помел), %;  $F_{M11}$  – вміст заліза магнітного відповідного сорту у відповідному рудному вантажопотоці – шихті (наприклад, першого сорту, першого вантажопотоку), %;  $F_{311}$  – вміст заліза загального відповідного сорту у відповідному рудному вантажопотоці, %;  $K_{\epsilon}$  – коефіцієнт використання обладнання, відносні одиниці;  $a_{ij}$  – коефіцієнти моделі, які необхідно визначити.

Обмеження значень технологічних параметрів мають вигляд

$$\begin{aligned}
 C_{\min} \leq C_{i,j} \leq C_{\max}; Q_{\min} \leq Q_{i,j} \leq Q_{\max}; C_{(+20)\min} \leq Q_{(+20)i,j} \leq C_{(+20)\max}; \\
 E_{\min} \leq E_{i,j} \leq E_{\max}; \varphi_{\min} \leq \varphi_{i,j} \leq \varphi_{\max}; \Pi_{\min} \leq \Pi_{i,j} \leq \Pi_{\max}. \quad (2)
 \end{aligned}$$

Оскільки параметри об'єкта змінюються безперервно, то модель повинна бути або досить складною, або такою, що змінює свої параметри на кожному кроці управління. Простота моделі компенсується постійним оновленням її параметрів. На підставі наведеного було запропоновано використовувати на кожному кроці оптимізації лінійні моделі.

Як зазначено раніше, для одержання коректних результатів створення моделі, вихідні дані повинні бути відповідним чином підготовлені. Для одержання більш достовірних результатів необхідно відібрати з бази даних значення технологічних параметрів, які мало відрізняються від тих, що розраховуються (поточних). Ця проблема вирішується шляхом попереднього масштабування та сортування даних для подальшої обробки.

За даними технологічних процесів одержана множина технологічних ситуацій на кожному кроці керування, який характеризується  $i$ -тим набором вхідних  $x_{ij}$  та вихідних значень  $y_{ij}$  у вигляді матриць для вхідних та вихідних значень відповідно

$$X = \begin{pmatrix} x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1n} \\ x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2n} \\ \dots\dots\dots x_{ij} \dots\dots\dots \\ x_{m1}, x_{m2}, \dots, x_{mn} \end{pmatrix}, \quad \bar{Y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_i \\ y_m \end{bmatrix}, \quad (3)$$

де  $i$  – номер інтервалу реалізації виробничого процесу;  $j$  – номер технологічного параметру;  $m$  – кількість інтервалів технологічного процесу, урахованих при розрахунку моделі;  $n$  – кількість технологічних параметрів процесу, урахованих при розрахунку моделі.

Кожне значення вихідної величини  $y_i$  характеризується вектором-рядком вхідних параметрів  $\bar{x}_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})$ . Дані за  $m$  інтервалів утворюють матрицю даних  $X$  для пошуку коефіцієнтів моделі.

Необхідно враховувати, що в кожному рядку дані мають різні за величиною значення. Наприклад, дані першого стовпця – це витрати води, а другого – витрати руди. Дані, які мають меншу величину, менш суттєво вплинуть на визначення відстані, хоча їх вплив на вихідну величину може бути значним. Тому спочатку було проведено масштабування даних у межах кожного із стовпців.

Для цього обраний масштаб вхідних та вихідних величин таким чином, щоб найбільше з обраних для розрахунку не перевищувало одиниці, тобто виконувалось нормування даних до одиниці. Для цього було віднесені значення  $j$ -го технологічного параметру протягом  $m$  інтервалів до максимальної величини в межах  $j$ -того стовпця з подальшим масштабуванням.

$$X_m = \begin{pmatrix} \frac{x_{11}}{\max(x_{11}, x_{21}, \dots, x_{m1})} \cdot 100, \frac{x_{12}}{\max(x_{12}, x_{22}, \dots, x_{m2})} \cdot 100, \dots, \frac{x_{1n}}{\max(x_{1n}, x_{2n}, \dots, x_{mn})} \cdot 100 \\ \frac{x_{21}}{\max(x_{11}, x_{21}, \dots, x_{m1})} \cdot 100, \frac{x_{22}}{\max(x_{12}, x_{22}, \dots, x_{m2})} \cdot 100, \dots, \frac{x_{2n}}{\max(x_{1n}, x_{2n}, \dots, x_{mn})} \cdot 100 \\ \dots\dots\dots \\ \frac{x_{m1}}{\max(x_{11}, x_{21}, \dots, x_{m1})} \cdot 100, \frac{x_{m2}}{\max(x_{12}, x_{22}, \dots, x_{m2})} \cdot 100, \dots, \frac{x_{mn}}{\max(x_{1n}, x_{2n}, \dots, x_{mn})} \cdot 100 \end{pmatrix};$$

$$Y_m = \begin{bmatrix} \frac{y_1}{\max(y_1, y_2, \dots, y_m)} \cdot 100 \\ \frac{y_2}{\max(y_1, y_2, \dots, y_m)} \cdot 100 \\ \dots\dots\dots \\ \frac{y_m}{\max(y_1, y_2, \dots, y_m)} \cdot 100 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

де  $x_{ij}$  – значення технологічних параметрів з бази даних ( $i$  – номер вибірки,  $j$  –

номер параметра);  $y_{ij}$  – компоненти вихідного вектора з бази оброблюваних даних;  $x_{zij}$  – задане значення технологічного параметра.

Для переходу до натуральних значень параметрів достатньо виконати зворотнє масштабування. Для побудови математичної моделі технологічних процесів проводилось сортування даних з бази в порядку зменшення відстані  $\rho_{ij}$  від заданого значення або поточного вектора даних. Причому, додатково враховувався вплив кожної з вхідних величин на вихідну за допомогою коефіцієнтів кореляції  $k_{ij}$  між вхідними (значеннями параметрів технологічних процесів) та вихідними (наприклад, якістю готового продукту). Таким чином, відстань  $\rho_{ij}$  при сортуванні має вигляд:

$$\rho_{ij} = \sum_{j=1}^{j=n} \left| \frac{x_{ij} - x_{zij}}{k_{ij}} \right| \xrightarrow{i} \min, \quad (5)$$

де  $k_{ij}$  – коефіцієнт кореляції між  $i$ -тою вихідною величиною та значенням  $j$ -го технологічного параметру.

З виразу (5) видно, що при збільшенні коефіцієнта взаємкореляції вхідної змінної з вихідною зменшується відстань у напрямку відповідної координати. Тому за ознакою мінімуму відстані будуть відібрані ті вектори, які характеризуються найменшою відстанню від заданих значень відповідних технологічних параметрів, що обумовлено поточною ситуацією. При цьому враховується найбільший вплив вхідних (значень технологічних параметрів) змінних на вихідні дані.

На підставі структурованої й відібраної матриці був проведений розрахунок коефіцієнтів регресійної моделі за допомогою методу найменших квадратів. Це дозволило побудувати математичну модель технологічних процесів змінної структури, показники точності за якістю концентрату якої практично збігаються з результатами хімічного аналізу (відхилення не більше 0,1 %).

**У третьому розділі** розглянуте питання оптимізації вихідних параметрів виробничих процесів переробки та збагачення залізної руди.

Якщо одержана модель є лінійною, то вирішення задачі оптимізації, на перший погляд, не представляє проблем і може бути зведене до задачі лінійного програмування з вирішенням її за допомогою запропонованого в роботі варіанту алгоритму математичного програмування.

Відомі алгоритми, навіть готові до використання програмні продукти, що дозволяють проводити оптимізацію методами лінійного програмування. Але, як показує досвід і численні публікації, більшість з них практично не враховують помилок округлення, особливостей збереження даних програмного забезпечення, не розраховані на потрібну кількість вхідних параметрів і мають інші недоліки. Це часто призводить до виходу поточної точки за межі області припустимих значень. Відомі роботи Ю. П. Петрова, Л. Г. Хачияна, де



вказується на зациклення класичних методів, особливо, коли є додаткові обмеження параметрів.

Окреслені проблеми не дозволили використати відомі методи оптимізації, що примусило автора звернутися до розробки удосконаленого методу вирішення задачі математичного програмування. На рис. 4 наведена його геометрична інтерпретація в лінійному випадку й подальші шляхи його узагальнення.

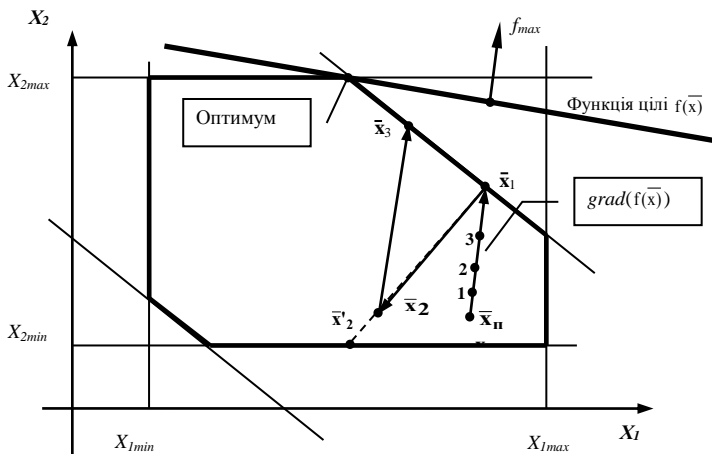


Рис. 4. Геометрична інтерпретація руху до оптимуму:  
 $\bar{x}_n$  – початкова точка;  $\bar{x}_k$  – точка на  $k$ -му кроці пошуку.

На цьому рисунку цифрами 1, 2, 3 показано проміжні точки, у яких проводиться оновлення параметрів моделі на шляху до досягнення границі області допустимих значень у випадку нелінійної задачі. Якщо задача лінійна, у цьому немає необхідності. Точка досягнення границі (на першому етапі це  $\bar{x}_1$ ) може бути розрахованою за один крок.

Область припустимих значень рішення виділена жирним контуром. Стрілками зазначений напрямок зростання функції цілі  $f(\bar{x})$ . Основна ідея алгоритму може бути представлена в такий спосіб: а) вибір початкової точки  $\bar{x}_n$  в області припустимих значень; б) рух із заданим кроком у напрямку вектора градієнта цільової функції до зустрічі з найближчою гранню (точка  $\bar{x}_1$ ), (причому всупереч традиційним методам зустріч відбувається не за один крок; оскільки запропонована модель може використовуватись на досить обмеженому інтервалі зміни технологічних параметрів), зробивши крок, необхідно знов обчислити параметри моделі й здійснити наступний крок у напрямку градієнта цільової функції; в) відступ від цієї грані в напрямку нормалі до неї усередину багатогранника, але не далі найближчої грані у цьому напрямку (точка  $\bar{x}'_2$ ); для забезпечення виходу точки за межі області припустимих значень уведений коефіцієнт дроблення кроку; г) отримання

точки  $\bar{x}_2$  і, починаючи з неї, як з початкової, повтор процесу до  $\bar{x}_3$ .

У роботі наведений також алгоритм завершення процесу пошуку при досягненні заданої точності. Досліджене питання забезпечення точності досягнутого оптимуму та збігу з ним.

Розглянутий алгоритм розв'язання задачі лінійного програмування може бути застосований і для розв'язання задачі нелінійного програмування. Для цього необхідно напрямок до оптимуму обчислювати як вектор зі складовими  $grad\Pi(\bar{x})$ , де  $\Pi$  – розрахунковий прибуток від кінцевого продукту, грн. Одержані значення вважаються постійними на кожному поточному інтервалі пошуку оптимуму.

За прикладом критерію оптимальності був використаний критерій для вирішення задачі оптимізації складу шихти з урахуванням усіх основних технологічних параметрів на даних, накопичених у процесі реального технологічного процесу. Математична залежність для визначення розрахункового прибутку від виробництва концентрату на одному кроці пошуку оптимуму може бути представлена в загальному вигляді

$$\Pi(\bar{x}) = V(\bar{x}) \cdot (\Pi_0 - k_{\Pi_{Fe}} \cdot Fe_0 + k_{\Pi_{Fe}} \cdot Fe(\bar{x}) - Z_{const} - Z_{эл}(\bar{x}) - Z_в) \rightarrow \max, \quad (6)$$

де  $\bar{x}$  – вектор технологічних параметрів, від яких залежить критерій оптимальності;  $V(\bar{x})$  – обсяг виробництва концентрату, отриманого з обраної групи шихти, т;  $\Pi_0$  – базова (декларована) ціна концентрату, грн.;  $k_{\Pi_{Fe}}$  – коефіцієнт приплати/знижки ціни, грн.;  $Fe$  – поточний вміст заліза загального, %;  $Fe_0$  – базовий (декларований) вміст заліза загального, %;  $Z_{const}$  – постійні витрати, грн.;  $Z_{var}$  – змінні витрати, грн.;  $Z_{ел}$  – витрати електроенергії, грн.;  $Z_в$  – витрати води, грн.

Було прийнято обмеження значень технологічних параметрів у вигляді (2), при цьому враховувались три технологічні параметри. Лінеаризація (6) дозволяє представити вираз для прибутку у вигляді:

$$\Pi(\bar{x}) = c_0 + \frac{\partial \Pi(\bar{x})}{\partial x_1} \cdot \Delta x_1 + \frac{\partial \Pi(\bar{x})}{\partial x_2} \cdot \Delta x_2 + \frac{\partial \Pi(\bar{x})}{\partial x_3} \cdot \Delta x_3;$$

$$\Pi(\bar{x}) = c_0 + c_1 \cdot \Delta x_1 + c_2 \cdot \Delta x_2 + c_3 \cdot \Delta x_3,$$

де  $c_0 = const$ ,  $c_1 \approx \frac{\Delta \Pi(\bar{x})}{\Delta \bar{x}_1}$ ,  $c_2 \approx \frac{\Delta \Pi(\bar{x})}{\Delta \bar{x}_2}$ ,  $c_3 \approx \frac{\Delta \Pi(\bar{x})}{\Delta \bar{x}_3}$  – коефіцієнти лінеаризованої

функції прибутку (6) – є компонентами вектора  $grad\Pi(\bar{x})$ .

Навколо кожної поточної точки, відносно якої проводиться лінеаризація критерію (6), вираз для прибутку є лінійною функцією. Прийнято, що на кожному кроці пошуку оптимуму модель прибутку є лінійною, представлена задача зводиться до задачі лінійного програмування.

Запропонований у роботі модифікований метод оптимізації був

застосований до вирішення задачі визначення уставок регуляторів на кожному кроці керування, що оптимізують прибуток з урахуванням таких технологічних параметрів, як 8 сортів руди, вмісту в них корисних компонентів, витрат води, електроенергії. Загалом у різних варіантах розрахунків використовувалося до 30 параметрів.

На рис. 5 наведений графік оптимізації розрахункового прибутку по секції рудозбагачувальної фабрики №1 ІнГЗК, який ілюструє ці розрахунки. Оптимум для цього кроку керування досягнутий на 27-му інтервалі пошуку. На рис. 6-11 наведені зміни окремих технологічних параметрів, значення яких одержані в процесі оптимізації критерію. Їх значення на 27-му інтервалі є оптимізованими для даного кроку керування й тому прийняті за уставки регуляторів відповідних технологічних процесів.

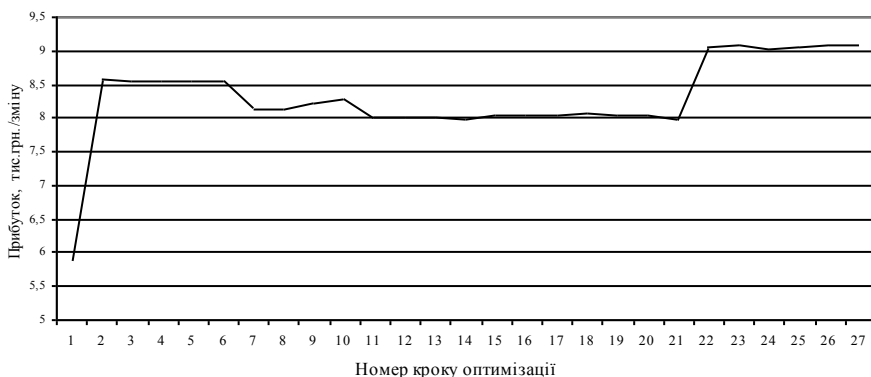


Рис. 5. Оптимізація прибутку по першій технологічній секції РЗФ №1 ВАТ ІнГЗК

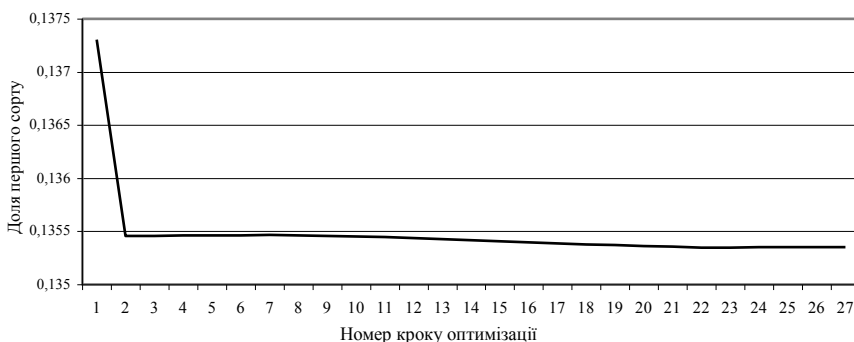


Рис. 6. Оптимізація вмісту першого технологічного сорту в рудній шихті

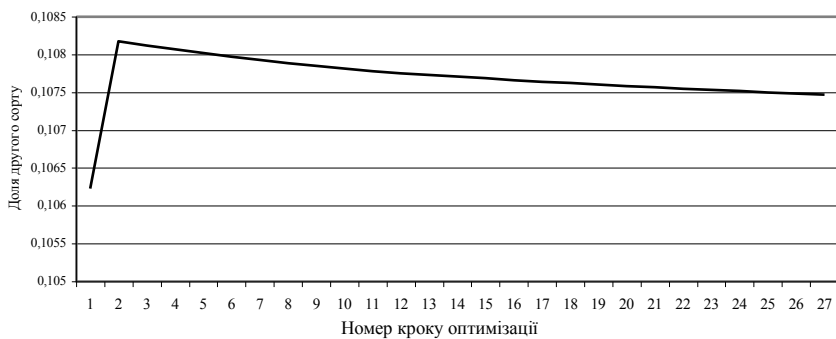


Рис. 7. Оптимізація вмісту другого технологічного сорту в рудній шихті

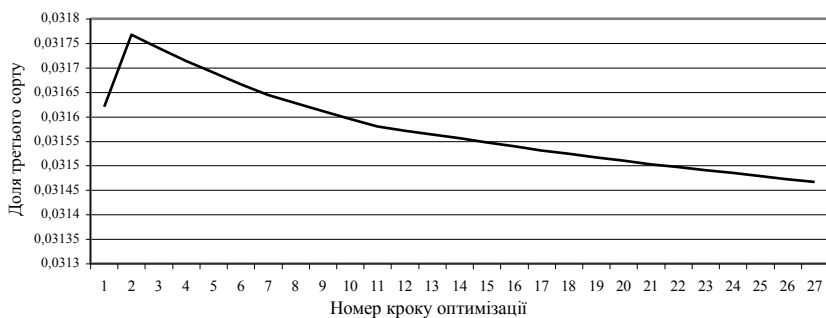


Рис. 8. Оптимізація вмісту третього технологічного сорту в рудній шихті

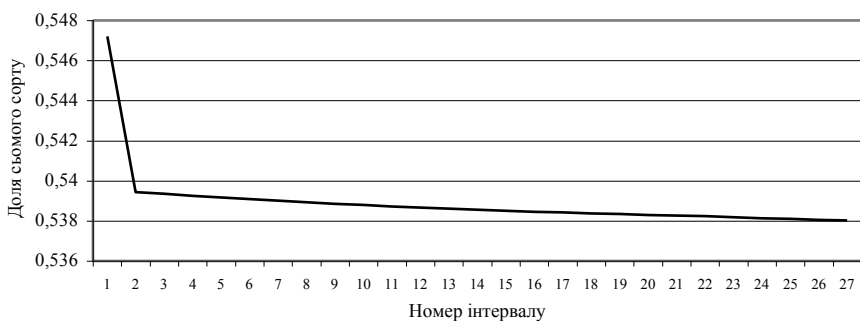


Рис. 9. Оптимізація вмісту сьомого технологічного сорту в рудній шихті

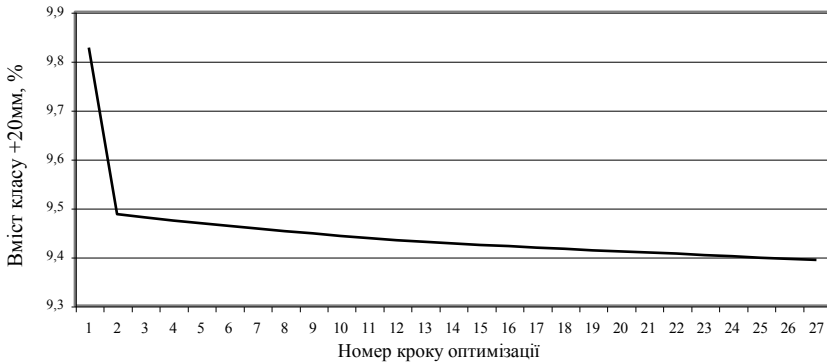


Рис. 10. Оптимізація вмісту класу +20 мм у дробленій руді

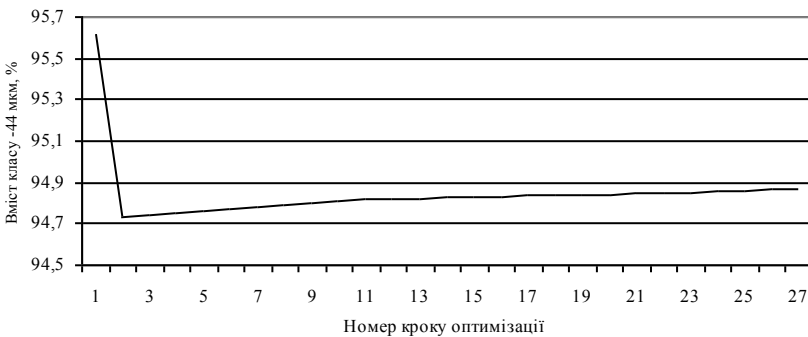


Рис. 11. Оптимізація вмісту класу -44 мкм в концентраті

У всіх випадках розраховані оптимальні значення підтверджуються експериментально в умовах виробництва. При цьому відносна похибка не перевищувала 5%. Отже, застосований алгоритм приводить до стійкого процесу пошуку оптимуму.

Таким чином, отримане оптимальне за зазначеним критерієм співвідношення технологічних параметрів. В подальшому знайдені оптимальні значення параметрів можуть служити заданими величинами (уставками) для регуляторів технологічних процесів.

**У четвертому розділі** розглянутий принцип побудови динамічної різницевої моделі з використанням рівняння Вінера-Хопфа. Як відзначалось раніше, для переходу від цього рівняння до передаточних функцій і далі до різницевих рівнянь необхідно запровадити перетворення Лапласа та перехід до Z-зображень стосовно виразів кореляційних функцій. Ця задача не завжди однозначно може бути вирішена. Оскільки нами прийнята концепція – оновлення моделі на кожному кроці керування, були проведені дослідження, що довели можливість використання значень автокореляційної та

взаємкореляційної функції на їх перших інтервалах.

Для отримання динамічної моделі на вхід об'єкта подавався сигнал довільної форми. Це може бути реальний сигнал технологічного процесу при експлуатації цього об'єкта. Далі обчислюється автокореляційна функція вхідного та взаємкореляційна функція. Відповідно до співвідношення Вінера-Хопфа відношення зображень взаємкореляційної та автокореляційної функції є передаточною функцією об'єкта і має вигляд:

$$W(z) = \frac{R_{uy}(z)}{R_{uu}(z)} = \frac{R_{uy}(0)z^0 + R_{uy}(1)z^{-1} + R_{uy}(2)z^{-2}}{R_{uu}(0)z^0 + R_{uu}(1)z^{-1} + R_{uu}(2)z^{-2}} = \frac{y(z)}{u(z)}. \quad (7)$$

Для забезпечення умови фізичного існування дискретного об'єкту необхідно, щоб при такій формі запису ступінь знаменника була меншою за ступінь чисельника. Тому після перетворень одержимо передаточну функцію, яка може бути реалізована математично у вигляді:

$$W(z) = \frac{R_{uy}(z)}{R_{uu}(z)} = \frac{R_{uy}(0)z^2 + R_{uy}(1)z^1 + R_{uy}(2)z^0}{R_{uu}(0)z^1 + R_{uu}(1)z^0 + R_{uu}(2)z^{-1}} = \frac{y(z)}{u(z)}, \quad (8)$$

де  $R_{uy}(z)$ ,  $R_{uu}(z)$  – взаємкореляційна функція між вхідною та вихідною дією та автокореляційна функція вхідної дії відповідно;  $y(z)$  – зображення вихідної дії;  $u(z)$  – зображення вхідної дії;  $z$  – змінна  $z$ -перетворення.

У роботі показане одержання передаточної функції на основі інтегральної та диференціальної форми рівняння Вінера-Хопфа. З виразу (8) одержимо різницеве рівняння кореляційної моделі

$$y[i+1] = \frac{1}{R_{uu}(2)}(R_{uy}(2)u[i] + R_{uy}(1)u[i-1] + R_{uy}(0)u[i-2] - R_{uu}(1)y[i] - R_{uu}(0)y[i-1]). \quad (9)$$

У загальному вигляді для перших трьох точок кореляційних функцій різницева модель може бути представлена у вигляді

$$y[i+1] = \frac{1}{R_{uu}(2)} \left( \sum_{j=0}^{j=2} R_{uy}(j)u[i+j-2] - \sum_{j=0}^{j=1} R_{uu}(j)y[i+j-1] \right), \quad (10)$$

де  $i = (0, 1, 2, \dots)$  – поточний номер перехідного процесу;  $j$  – номер точки на графіку кореляційної функції (тут враховано лише три точки).

Залежності (9) та (10) є наближеними, оскільки використані зображення кореляційних функцій у них містять обмежену кількість значень, але вони ураховують взаємозв'язки між вхідною та вихідною діями на найближчих інтервалах до поточного, на якому й буде відбуватися керування об'єктом.

Значення кореляційних функцій в імпульсному зображенні відіграють роль коефіцієнтів передаточної функції. Такий підхід є спрощеним і може дати лише наближення до точної передаточної функції. Перехідний процес у наближеній моделі в порівнянні з процесом у точній моделі наведений на рис. 12. Далі показано, що оптимізація коефіцієнтів такої спрощеної моделі у

замкненому контурі з регулятором привела до значного зменшення похибки керування порівняно з похибкою ідентифікації самої моделі.

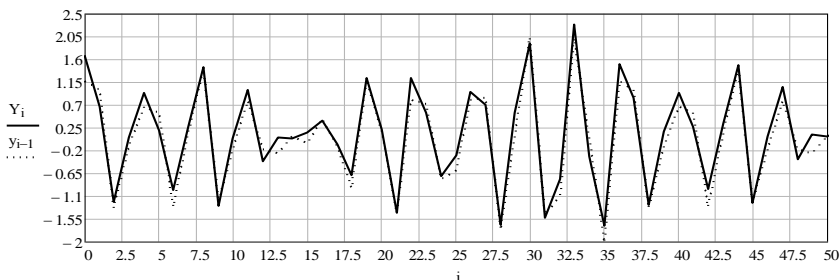


Рис. 12. Перехідний процес у моделі об'єкта керування за точними розрахунками суцільна лінія, та з використанням шести значень кореляційних функцій перервна лінія при випадковій вхідній дії,  $i$  – номер інтервалу. Помилка моделі склала 3,81%

Для синтезу регулятора динамічних об'єктів керування був застосований метод оберненого регулятора. Він полягає у виборі структури регулятора у вигляді оператора, оберненого до оператора моделі об'єкта керування.

При переході від передаточної функції (10) до різницевого рівняння формально модель має алгебраїчний вигляд і не відрізняється від статичної (8), залишаючись динамічною. Структура повної замкненої системи наведена на рис. 13. За зворотнім зв'язком виступають алгоритми обчислення кореляційних функцій та оптимізації коефіцієнтів. Була проведена перевірка працездатності системи. У розвиток зазначеної методики розглянута багатозв'язна система, де передаточна функція прийнята наперед невідомою й обчислювалась з використанням кореляційних функцій, як це зазначено раніше. З (10) введено допоміжне позначення для скорочення подальших розрахунків

$$a_1 = \frac{-R_{uu}(1)}{R_{uu}(2)}, a_0 = \frac{-R_{uu}(0)}{R_{uu}(2)}; b_0 = \frac{R_{uy}(0)}{R_{uu}(2)}, b_1 = \frac{R_{uy}(1)}{R_{uu}(2)}, b_2 = \frac{R_{uy}(2)}{R_{uu}(2)}. \quad (11)$$

Одержано значення керуючої дії методом оберненого оператора

$$u[i] = \frac{1}{b_2} (y_3[i+1] - a_1 y_3[i] - a_0 y_3[i-1] + b_1 u[i-1] + b_0 u[i-2]), \quad (12)$$

де  $b_0, b_1, a_0, a_1$  – коефіцієнти регулятора;  $y_3[i+1], y_3[i]$  – задані вихідні дії;  $u[i-1], u[i-2]$  – значення вхідної дії.

Після підстановки (12) у (6) залежність для САУ з замкнутим оберненим регулятором, має вигляд

$$y[i+1] = \frac{1}{R_{uu}(2)} (R_{uy}(2) \left( \frac{1}{b_2} (y_3[i+1] - a_1 y_3[i] - a_0 y_3[i-1] + b_1 u[i-1] + b_0 u[i-2]) + b_0 u[i-2] \right) + R_{uy}(1) u[i-1] + R_{uy}(0) u[i-2] - R_{uu}(1) y[i] - R_{uu}(0) y[i-1]). \quad (13)$$

Оскільки коефіцієнти регулятора обчислюються наближено, вони потребують уточнення на перших інтервалах керування. Навіть без поновлення кореляційних функцій процес керування виявився достатньо ефективним.

Оптимізація коефіцієнтів полягала в підборі їх за критерієм мінімуму похибки регулювання. Для цього початкове значення коефіцієнта обиралось рівним розрахованому за кореляційним методом, далі кожен з коефіцієнтів змінювався з обраним значенням кроку спочатку в будь-який бік. Якщо

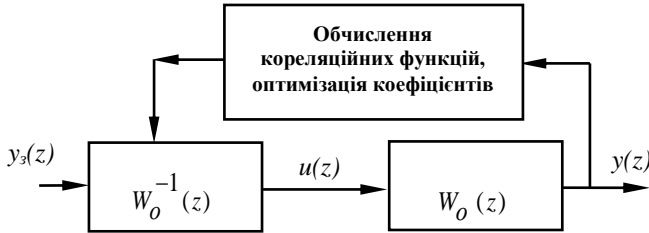


Рис. 13. Структурна схема замкненої системи керування:  $y_z(z)$  – задане значення вихідної величини;  $y(z)$  – вихідна величина;  $u(z)$  – значення керуючої дії

$W_o(z)$  – передаточна функція кореляційної моделі об'єкта;

$W_o^{-1}(z)$  – передаточна функція оберненої кореляційної моделі об'єкта;

$u(z)$  – керуюча дія;  $z$  – символ заданого значення.

похибка зменшувалася, то коефіцієнт був змінений в той же бік. Якщо похибка збільшувалася, коефіцієнт було змінено у протилежний бік. Для порівняння результатів оптимізації дані бралися з бази даних експлуатації за минулі найближчі попередні інтервали. Коефіцієнти, розраховані за кореляційним методом, відрізняються від оптимальних у межах 10%. Це свідчить про достатню ефективність кореляційного методу, запропонованого в роботі.

На рис. 14 наведена характеристика настройки одного з коефіцієнтів.

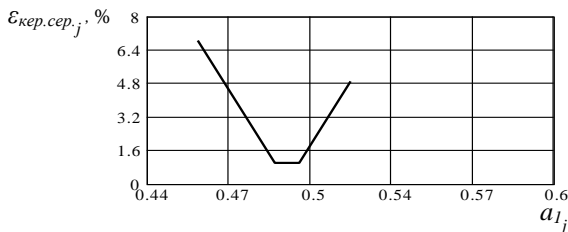


Рис. 14. Залежність середньої похибки керування (%) від коефіцієнта регулятора  $a_{I,j}$  на  $j$ -му інтервалі настроювання

На горизонтальній вісі представлені значення коефіцієнта  $a_{I,j}$ , які були йому надані при підстроюванні. На вертикальній вісі показана похибка регулювання у відсотках, що одержана при оптимізації коефіцієнта  $a_{I,j}$ . При



цьому, кількість значень кореляційних функцій, урахованих при одержанні регулятора, була меншою, ніж у наведеному прикладі. Похибка керування після оптимізації коефіцієнтів не перевищувала 2%. Це свідчить про досить високу ефективність запропонованої методики.

На рис. 15 наведений перехідний процес після оптимізації коефіцієнтів регулятора.

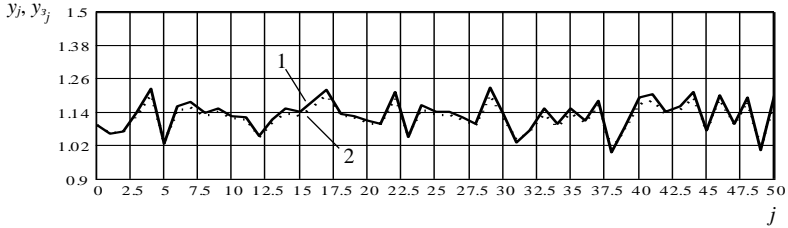


Рис. 15. Перехідний процес після оптимізації коефіцієнтів регулятора:  
 $y_j$  – вихідна функція (1),  $y_{y_j}$  – задана вихідна функція (2). Середня похибка керування складала близько 0,5%.

За аналогією з (6) була одержана кореляційна модель багатозв'язного об'єкта керування для трьох технологічних параметрів і трьох значень кореляційних функцій. Для прикладу тут наведений вираз для одного технологічного параметру.

$$\begin{aligned}
 y_l[i+1] = & \frac{1}{R_{y_l y_l}(2)} \sum_{j=0}^{j=2} R_{y_l y_l}(j) y_l[i+j-2] + \frac{1}{R_{y_2 y_2}(2)} \sum_{j=0}^{j=2} R_{y_l y_2}(j) y_2[i+j-2] + \\
 & + \frac{1}{R_{y_3 y_3}(2)} \sum_{j=0}^{j=2} R_{y_l y_3}(j) y_3[i+j-2] - \frac{1}{R_{y_l y_l}(2)} \sum_{j=0}^{j=1} R_{y_l y_l}(j) y_l[i+j-1] - \\
 & - \frac{1}{R_{y_2 y_2}(2)} \sum_{j=0}^{j=1} R_{y_l y_2}(j) y_2[i+j-1] - \frac{1}{R_{y_3 y_3}(2)} \sum_{j=0}^{j=1} R_{y_l y_3}(j) y_3[i+j-1] + \\
 & + \frac{1}{R_{x_l x_l}(2)} \sum_{j=0}^{j=2} R_{y_l x_l}(j) x_l[i+j-2] + \frac{1}{R_{x_2 x_2}(2)} \sum_{j=0}^{j=2} R_{y_l x_2}(j) x_2[i+j-2] + \\
 & + \frac{1}{R_{x_3 x_3}(2)} \sum_{j=0}^{j=2} R_{y_l x_3}(j) x_3[i+j-2] - \frac{1}{R_{x_l x_l}(2)} \sum_{j=0}^{j=1} R_{y_l x_l}(j) x_l[i+j-1] - \\
 & - \frac{1}{R_{x_2 x_2}(2)} \sum_{j=0}^{j=1} R_{y_l x_2}(j) x_2[i+j-1] - \frac{1}{R_{x_3 x_3}(2)} \sum_{j=0}^{j=1} R_{y_l x_3}(j) x_3[i+j-1], \quad (14)
 \end{aligned}$$

де  $i = (0, 1, 2, \dots)$  – поточний номер точки на  $i$ -му інтервалі процесу;  $j$  – номер точки на графіку кореляційної функції;  $R$  – значення відповідної кореляційної функції;  $y$  – вихідні параметри технологічного процесу;  $x$  – вхідні параметри.

У роботі наведені залежності для останніх двох вхідних та двох вихідних дій багатозв'язної моделі. Розраховані значення кореляційних функцій прийняті початковими значеннями коефіцієнтів моделі та оптимізовані за критерієм мінімуму похибки, як для одновимірних об'єктів. Був проведений

числовий експеримент з оптимізації коефіцієнтів моделі процесів переробки та збагачення сировини з урахуванням двадцяти технологічних параметрів, які розглядалися як вхідні змінні. Вихідною змінною була взята якість концентрату, визначена у відсотках вмісту заліза.

Результати перевірки наведеної методики на багатовимірній моделі показані на рис. 16. Прогнозування здійснювалось протягом 30 змін. Максимальна похибка прогнозу становить близько 6 %. Середнє значення похибки складає 2,01 %.

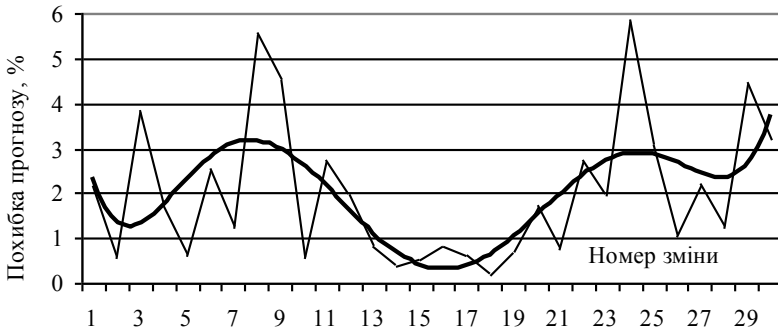


Рис. 16. Результати перевірки наведеної методики на багатовимірній моделі.

Дані для обчислення значень коефіцієнтів моделі об'єкта керування було взято з бази даних про зміну технологічних параметрів у процесі експлуатації. Оскільки реальні значення помилок керування можна взяти лише після впровадження системи керування, у даному випадку довелося обмежитися прогнозом значень технологічних параметрів за даними експлуатації. Числові експерименти з еталонними моделями об'єктів керування показали, що похибка керування в замкненій регулятором системі значно менша за похибку прогнозу з тією ж моделлю об'єкта.

**У п'ятому розділі** наведений перелік і опис автоматизованих систем управління для оперативного планування роботи основних цехів і технологічних ліній гірничо-збагачувального комбінату, що складають ланки автоматизованої системи управління комбінатом, зокрема автоматизована система управління плануванням і веденням гірничих робіт на базі ГІС, а також автоматизована система наскрізного планування сумісної роботи основних цехів ГЗК.

## ВИСНОВКИ

У роботі на основі ідентифікації технологічних параметрів вирішена актуальна наукова проблема по удосконаленню керування процесом видобування і збагачення залізної руди на гірничо-збагачувальних комбінатах,

яка полягає в тому, що система управління має ієрархічну структуру і на кожному з рівнів ієрархії вирішуються відповідні керуючі впливи.

Основні наукові та практичні результати роботи полягають у наступному.

1. На основі одержаних в роботі закономірностей сформована багатозв'язна математична модель технологічних процесів як об'єкта керування, коефіцієнти якої оновлюються на кожному кроці розрахунку, причому вихідні дані для розрахунку поточних коефіцієнтів моделі вибираються як сукупності, вектори яких найбільш близько розташовані до вектора поточної ситуації й характеризуються найбільш можливими коефіцієнтами кореляції між вхідними та вихідними даними. Відносна похибка прогнозу вихідних величин математичної моделі у порівнянні з фактичними даними не перевищує 1%.

2. Для підсистеми верхнього рівня ієрархії вирішена проблема визначення оптимальних технологічних параметрів процесу видобування і збагачення залізної руди на етапі планування для максимізації прибутку підприємства, що було досягнуто шляхом удосконаленого методу вирішення задачі математичного програмування, що виключає можливість зациклення алгоритму оптимізації або вихід за область пошуку оптимуму, що виникає в традиційних методах. Ці визначені оптимальні технологічні параметри служать уставками для регуляторів підсистем більш низького рівня ієрархії для рудника, ДФ, РЗФ.

3. Проведені дослідження довели, що при побудові динамічної різницевої моделі процесів перероблення та збагачення залізної руди на основі рівняння Вінера-Хопфа, а також розрахунку інтервалу дискретизації параметрів технологічних процесів на підставі використання його спектральних характеристик, можливо використовувати обмежену кількість значень кореляційних функцій технологічних параметрів процесів, оскільки вони характеризують найбільш тісні зв'язки між вхідними та вихідними діями, що практично не знижує точності розрахунків моделі й скорочує обчислення кореляційних функцій та відповідно керуючих дій. Похибка розрахунків при використанні трьох значень кореляційної функції не перевищує 5%, п'яти значень – 1%.

4. Сформована й запропонована система управління на основі багатозв'язної моделі технологічних процесів перероблення та збагачення залізної руди із застосуванням методу оберненого оператора, у контур управління якого додатково вводиться зворотний зв'язок, результатом якого є оптимізація коефіцієнтів регулятора, що зменшує похибку керування до 2%.

5. Розроблено методику оцінки і оптимізації параметрів технологічних процесів видобування і збагачення залізної руди в умовах випадкових збурень стосовно гірничо-збагачувального комбінату, яка дозволила на прикладі Інгулецького ГЗК науково обґрунтувати для поточних умов принцип розрахунку оптимальних співвідношень мінеральних різновидів рудної шихти, що подається з кар'єру на збагачення, вмісту класу +20 мм на виході дробильної фабрики, продуктивність секції збагачення, вмісту класу - 44 мкм в

концентраті та інших параметрів і при цьому прорахувати показники кількості, собівартості, якості залізорудного концентрату, а також розрахункового прибутку при його виробництві.

6. Розроблені моделі, алгоритми, методики, що викладені в роботі, були покладені в основу результатів виконання науково-дослідних та інжинірингових робіт, використаних Інгулецьким, Південним гірничо-збагачувальними комбінатами, Криворізьким технічним університетом, підприємством «КРИВБАСАКАДЕМІНВЕСТ», прийняті до використання Київським інститутом автоматики, інститутом «Механобрчермет» (м. Кривий Ріг). Використання запропонованих рішень дозволить підвищити розрахунковий прибуток від видобування і збагачення залізної руди на 5-7%.

### **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ:**

1. Назаренко М. В. Автоматизированное рабочее место (АРМ) диспетчера дробильной фабрики (ДФ) / Назаренко В.М., Назаренко М. В., Марусич Ю. Ю., Мякушин Н. В. // Сборник научных трудов Национальной горной академии Украины. – Днепрпетровск. – 1998. – №4. – С.102-106.

2. Системы управления технологическими механизмами для получения железорудного концентрата, отвечающего требованиям современного уровня / [Назаренко В. М., Назаренко М. В., Савицкий А. И., Гвоздик В. С.] // Гірнична електромеханіка та автоматика. – №2 (61). – 1999. – С. 47-50.

3. Техничко-экономическое обоснование применения раздельной добычи и переработки железных руд на примере Ингулецкого ГОКа / [Назаренко В. М., Назаренко М. В., Хоменко С. А., Кривошеев А. В.] / Оперативный контроль и управление качеством минерального сырья при добыче и переработке: Другий міжнародний симпозіум. – Кривой Рог. – 1999. – С. 104-110.

4. Назаренко М. В. Математическая модель закономерностей формирования показателей обогащения // Гірнична електромеханіка та автоматика. – №4 (63). – 1999. – С. 158-168.

5. Назаренко М.В. Влияние информационных и компьютерных технологий на качество и себестоимость железорудного сырья на примере Ингулецкого и Южного ГОКов / [Назаренко В. М., Назаренко М. В., Купин А. И.] / Оперативный контроль и управление качеством минерального сырья при добыче и переработке: Другий міжнародний симпозіум. – Кривой Рог. – 1999. – С. 110-117.

6. Назаренко М. В. Система автоматизированного управления совместной работой подразделений горно-обогательного комбината // Разработка рудных месторождений: Респ. міжвідомчий наук.-техн. збірник Мін. освіти і науки України. – Кривий Ріг. – № 67. – 1999. – С. 68-71.

7. Назаренко М. В. Принципы построения математических моделей показателей обогащения // Разработка рудных месторождений: Респ. міжвідомчий наук.-техн. збірник Мін. освіти і науки України. – Кривий Ріг. – № 70. – 2000. – С. 81-85.

8. Назаренко М. В. Принципы построения автоматизированной системы

планирования транспортными потоками в карьере/ Назаренко В. М., Назаренко М. В., Хоменко С. А// Разработка рудных месторождений: Респ. міжвідомчий наук.-техн. збірник Мін. освіти і науки України. – Кривий Ріг. – № 71. – 2000. – С. 47-51.

9. Назаренко М. В. Автоматизированная система планирования транспортных потоков в карьере / Назаренко В. М., Назаренко М. В., Хоменко С. А. // Сборник научных трудов Национальной горной академии Украины. – Днепропетровск.- 2000. – № 9. – Т. 2. – С. 31-37.

10. Назаренко М. В. Применение ГИС-технологий для автоматизации диспетчерского управления технологическим транспортом в карьере / Назаренко В. М., Назаренко М. В., Купин А. И.// Сборник научных трудов Национальной горной академии Украины. – Днепропетровск.- 2000. – № 9. – Т. 1. – С. 190-194.

11. Назаренко М. В. Інтелектуальні системи прийняття рішень при плануванні гірничих робіт в розробках «Кривбасакадемінвест»/ [Назаренко В. М., Назаренко М. В., Хоменко С. А., Купін А. І.]// Сборник научных трудов Национальной горной академии Украины. – Днепропетровск.- 2001. – № 12. – Т. 1. – С. 190-194.

12. Назаренко М. В. Математическая модель построения технологических и экономических показателей работы горно-обогатительного комбината //Разработка рудных месторождений: Респ. міжвідомчий наук.-техн. збірник Мін. освіти і науки України. – Кривий Ріг.- 2001. – № 75. – С. 93-100.

13. Назаренко М. В. Современные информационные технологии для управления работой рудником горно-обогатительного комбината / [Назаренко В. М., Назаренко М. В., Хоменко С. А., Купін А. І.] // Разработка рудных месторождений: Респ. міжвідомчий наук.-техн. збірник Мін. освіти і науки України. – Кривий Ріг.- 2001. – № 77. – С. 66-70.

14. Назаренко М. В. Концептуальний підхід до побудови сучасної комплексної системи управління гірничим підприємством на основі ГІС-технологій/ [Назаренко В. М., Назаренко М. В., Хоменко С. А., Купін А. І.] // Сборник научных трудов Национального горного университета. – Днепропетровск/- 2002.- № 14. – Т. 2.-С. 13-22.

15. Назаренко М. В. Дослідження нестационарності процесу переробки сировини на гірничо-збагачувальному комбінаті та зменшення його впливу на процеси керування // Науковий вісник: Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ. – 2003. – № 11. – С. 91-94.

16. Назаренко М. В. Оцінка часу спостереження та інтервалу квантування виробничого процесу // Науковий вісник: Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ.- 2003. – № 12. – С. 66-70.

17. Назаренко М. В. Дослідження коректності побудови математичних моделей процесу переробки сировини гірничо-збагачувальним комбінатом //Гірничая електромеханіка та автоматика: Науково-технічний збірник. – Дніпропетровськ.- 2003. – №71. – С. 128-133.

18. Назаренко М. В. Спрощена методика визначення передаточної функції та різницевої моделі об'єкта керування процесом збагачення при випадковому вхідному сигналі // Сборник научных трудов НГУ. – Днепропетровск: Национальный горный университет.- 2004. – № 19. – Т. 5. – С. 42-47.

19. Назаренко М. В. Інтегрована система управління гірничорудним підприємством/ М. Назаренко, В. Назаренко // Вісник Криворізького технічного університету. – 2004. – № 3. – С. 28-31. (Здобувачем розроблені принципи й структура побудови інтегрованих систем управління гірничорудним підприємством в умовах випадкових збурюючих факторів).

20. Назаренко М. В. Система керування багатозв'язним виробничим процесом на основі кореляційної моделі об'єкту керування / М. Назаренко, В. Назаренко // Гірничі електромеханіка та автоматика. – Дніпропетровськ.- 2005. – № 74. – С. 110-116.

21. Назаренко М. В. Математичні моделі технологічних процесів видобутку та збагачення корисних копалин /М. Назаренко, В. Назаренко// Вісник Криворізького технічного університету: Збірник наукових праць. – 2006. – Вип. 11 – С. 185-188.

22. Назаренко М. В. Автоматизована система експертної оцінки та техніко-економічного обґрунтування кондицій запасів корисних копалин /[Назаренко В. М., Назаренко М. В., Рудько Г. І., Хоменко С. А.]/// Геоінформатика: Науковий журнал НАН України. – 2006. – № 2. – С. 86-89.

23. Назаренко М. В. Шляхи збереження та розвитку потенціалу вітчизняних ІТ-технологій /[Назаренко В. М., Назаренко М. В., Смирнова Н. В., Купін А. І., Хоменко С. А.]/// Вісник Криворізького технічного університету. – Кривий Ріг.- 2005. – № 9. – С. 95-100.

24. Назаренко М. В. Оцінка часу спостереження та інтервалу квантування виробничого процесу // Вісник Криворізького технічного університету: Збірник наукових праць. – Кривий Ріг.- 2003. – Вип. 2. – С. 66-70.

25. Назаренко М. В. Совершенствование режимов работы ленточных конвейеров в условиях применения современных средств управления / Назаренко В. М., Назаренко М. В., Смирнова Н. В.// Вісник Криворізького технічного університету: Збірник наукових праць. – Кривий Ріг.- 2003. – Вип. 2. – С. 70-72.

26. Назаренко М. В. Исследования корректности построения математических моделей процесса переработки сырья горно-обогадательным комбинатом // Разработка рудных месторождений: Респ. міжвідомчій наук.-техн. збірник Мін. освіти і науки України. – Кривий Ріг.- 2005. – № 88. – С. 132-135.

27. Назаренко М. В. Система автоматизованого управління підрозділами гірничо-збагачувального комбінату // Відомості Академії гірничих наук України. – Кривий Ріг.- 1999. – № 1. – С. 78-80.

28. Назаренко М. В. Обоснование применения геоинформационных технологий при автоматизации технологических процессов в горнодобывающей промышленности / М. Назаренко, В. Назаренко // Сборник

II Международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы использования геоинформационных технологий в горном деле». – Днепропетровск.- 2000. – С. 19-25.

29. Назаренко М. В. Принципи побудови системи автоматизованого управління сумісною роботою підрозділів гірничо-збагачувального комбінату (ГЗК) на прикладі Інгuleцького ГЗК / В. Назаренко, М. Назаренко// Автоматика 2000: Міжнародна конференція з автоматичного управління / Львів: Державний НДІ інформаційної інфраструктури.- Т. 4. – 2000. – С. 53-57.

30. А.С. 9805 Україна. Комп'ютерна програма «Геоінформаційна система» / В. М. Назаренко, М. В. Назаренко, Н. В. Смирнова, С. А. Хоменко/ дата реєстрації 15.04.2004.

31. А.С. 9804 Україна. Комп'ютерна програма «Комплексна система управління підприємством» / В. М. Назаренко, М. В. Назаренко, Н. В. Смирнова, С. А. Хоменко, А. І. Купін/ дата реєстрації 15.04.2004.

32. Пат. 51044 Україна, МПК В03В13/00. Система автоматичного керування процесом збагачення / Назаренко В. М., Назаренко М. В., Смирнова Н. В., Купін А. І. . – Заявл. 19.12.2001; Опубл. 16.05.2005; Бюл. №5. – 3 с.

33. Назаренко М.В. Наближена Кореляційна дискретна модель виробничого процесу при довільних кореляційних функціях// Вісник Криворізького технічного університету. Збірник наукових праць. – Кривий Ріг. – 2005. – Випуск 7. - С.139-144.

34. Назаренко М.В. Прогнозуюче адаптивне керування стохастичною системою для забезпечення раціональних техніко-економічних показників на прикладі залізрудного гірничо-збагачувального. Монографія . – Кривий Ріг: Діоніс (ФОП Чернявський Д.О.). – 2010. – 309 с.

35. Назаренко М.В. Теоретичні засади та принципи побудови моделей динамічних процесів та їх регуляторів. Монографія . – Кривий Ріг: Діоніс (ФОП Чернявський Д.О.). – 2010. – 204 с.

36. Назаренко М.В. Кластеризація бази технологічних параметрів збагачувального процесу для одержання його моделі. // Вісник Криворізького технічного університету. Збірник наукових праць. – Кривий Ріг. – 2010. – Випуск 25. - С.258-264.

### **Особистий внесок автора в роботах, що написані у співавторстві:**

[1] – розроблені принципи побудови математичної моделі автоматизованого робочого місця диспетчера дробильної фабрики, [2] – розроблені принципи побудови системи управління локальними механізмами ГЗК на базі дворівневого принципу; [3] – розроблена математична модель техніко-економічного обґрунтування роздільного видобутку й переробки залізної руди на прикладі Інгuleцького ГЗК; [5] – розроблена математична модель і алгоритми зв'язку впливу інформаційних систем на якість і собівартість залізрудної сировини; [8] – розроблена структура, математична модель і принципи побудови автоматизованої системи планування транспортними потоками в кар'єрі ГЗК; [9] – розроблені алгоритми функціонування й

оптимізації транспортних потоків у кар'єрі для побудови автоматизованої системи; [10] – розроблена математична модель, структура й принципи застосування ГІС-технологій для побудови автоматизованої системи диспетчерського управління технологічним транспортом у кар'єрі гірничо-збагачувального комбінату; [11] – розроблені принципи побудови й сформовані математичні моделі, що дозволяють знаходити оптимальні рішення при плануванні гірничих робіт у кар'єрі ГЗК, розроблені алгоритми побудови таких систем; [13] – розроблені структура й моделі побудови комплексних систем управління рудником гірничо-збагачувального комбінату на підставі сучасних інформаційних технологій; [14] – розроблені структура й моделі побудови комплексних систем управління гірничим підприємством з використанням ГІС-технологій; [19] – розроблені принципи й структура побудови автоматизованих систем управління гірничорудним підприємством в умовах випадкових збурюючих факторів; [20] – розроблена структура й алгоритми функціонування системи керування багатозв'язним виробничим процесом на основі кореляційної моделі об'єкту керування; [21] – розроблена математична модель технологічного процесу видобутку та збагачення корисних копалин; [22] – розроблені принципи й методика оцінки та техніко-економічного обґрунтування кондицій запасів для побудови автоматизованої системи; [23] – розроблений підхід і принципи побудови оптимальної моделі використання ІТ-технологій у гірничій промисловості з метою підвищення ефективності технологічних процесів; [25] – розроблені удосконалені режими роботи стрічкових конвеєрів з використанням сучасних засобів управління; [28] – розроблена математична модель коливань якості руди у вантажопотоці з рудника ГЗК та оцінка економічного ефекту від упровадження ГІС-технологій; [29] – розроблена регресійна модель зв'язку показників роботи підрозділів ГЗК; [30] – розроблені структура й алгоритми комп'ютерної програми «Геоінформаційна система»; [31] – розроблені структура й алгоритми комп'ютерної програми «Комплексна система управління підприємством»; [32] – розроблені структура, математична модель і алгоритми керування системи автоматичного керування процесом збагачення;

## **АНОТАЦІЯ**

**Назаренко М. В. Оптимальне автоматизоване управління технологічним процесом залізрудного комбінату на основі прогнозу технологічних показників для підвищення прибутку підприємства. – Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація технологічних процесів. – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ, 2010.

Дисертації присвячена побудові оптимальної системи управління технологічними процесами переробки та збагачення залізної руди. Розроблена



математична модель, що об'єднує процеси переробки та збагачення залізної руди з оптимізацією режимів роботи технологічних комплексів гірничо-збагачувального комбінату. Доведено, що для побудови моделей технологічних процесів достатньо використання обмеженої кількості значень кореляційних функцій технологічних параметрів, що суттєво не знижує точності моделі. Сформована модель управління технологічними процесами як багатозв'язної системи з оптимізацією коефіцієнтів регулятора.

Ключові слова: кар'єр, збагачувальна фабрика, дробильна фабрика, гірничо-збагачувальний комбінат, автоматизація технологічних процесів, автоматизована система, дискретна модель, рівняння Вінера-Хопфа, метод оберненого оператора, ідентифікація, кластеризація даних, багатозв'язна система.

## **АННОТАЦИЯ**

**Назаренко М. В. Оптимальное управление технологическим процессом железорудного комбината на основе прогноза технологических показателей для повышения прибыли предприятия. – Рукопись.**

Диссертация на соискание научной степени доктора технических наук по специальности 05.13.07 – автоматизация технологических процессов. – Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт, Киев, 2010.

Диссертация посвящена построению оптимальной интегрированной системы управления технологическими процессами переработки и обогащения железной руды. Разработана математическая модель, объединяющая процессы переработки и обогащения железной руды с оптимизацией режимов работы технологических комплексов горно-обогатительного комбината. Доказано, что для построения модели технологических процессов достаточно использования ограниченного количества значений корреляционных функций технологических параметров, что существенно не снижает точности модели. Сформирована модель управления технологическими процессами как многосвязной системы с оптимизацией коэффициентов регулятора.

Ключевые слова: карьер, обогатительная фабрика, дробильная фабрика, горно-обогатительный комбинат, автоматизация технологических процессов, интегрированная система, дискретная модель, уравнение Винера-Хопфа, обратный оператор, идентификация, кластеризация данных, многосвязная система.

## **ANNOTATION**

**Nazarenko M. V. The optimal management of development by technological complexes of iron ore mining on the basis of the forecast of technological indicators for increase of profit of the enterprise.**

The dissertation on competition of a scientific degree of Doctor of technical sciences on a speciality 05.13.07 – automation of technological processes. – National

technical university of Ukraine “The Kiev polytechnical institute”, Kiev, 2010.

The dissertation is devoted to the decision of actual scientific problem of development of the theory of control by technological complexes and of construction of the optimum integrated control system by technological processes of processing and enrichment of iron ore at ore mining and processing enterprise.

Thus, it is using the identification of technological parameters of iron ore processing and enrichment processes for construction of mathematical model which factors are updated on each step of calculation, and the initial data for calculation of model's factors get out as set which vectors are most close located to a vector of the current situation and are characterized by the most probable factors of correlation between the input and output data, and the further optimization of this model's factors determines the settings of regulators of the integrated control system for maintenance of rational operating modes of iron ore enrichment process. In work it is proved, that for construction of dynamic differencing model of iron ore enrichment process on the basis of Wiener-Hopf's equation, and for calculation of quantization interval of technological process's parameters on the basis of using of its spectral characteristics, there is enough to use the limited quantity of values of correlation functions of technological process's parameters because they characterize the closest connections between input and output influences, and it does not result in decrease of accuracy of model's calculations, and reduces the calculation of correlation functions. In work it is forming the mathematical model for control of technological iron ore enrichment process as multiconnected digital system on the basis of using of return operator method, thus it is entering in a contour of control the additional feedback which result is optimization of regulator's factors that results in essential reduction of a control mistake.

There was developed the techniques of parameters estimation for choice the way of control of systems with the casual revolting influences in conditions of ore mining and processing enterprise which have allowed on example of Inguletsky ore mining and processing enterprise to prove scientifically a principle of calculation of optimum parities of ore charge's mineral versions which gives from motion for processing and enrichment, the content of +20 mm class on output of crushing factory, the productivity of enrichment section, the content of –44 micrometer class in a concentrate and of other parameters, and thus to detect parameters of the quality, the quantity, the cost price of iron ore concentrate, and also settlement profit by its production.

The results of researches are introduced on a number of ore mining and processing enterprises, scientific and project institutes, enterprises as numerous techniques, technical projects and performance of research works, and also at composition of educational working plans for students of Kryvyi Rih technical university.

**Keywords:** the motion, the enrichment factory, the crushing factory, the ore mining and processing enterprise, the automation of technological processes, the integrated system, the discrete model, the Wiener-Hopf's equation, the return operator, the identification, the clasterization of data, the multiconnected system.



**Назаренко Михайло Володимирович**

**ОПТИМАЛЬНЕ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ  
ЗАЛІЗОРУДНОГО КОМБІНАТУ НА ОСНОВІ ПРОГНОЗУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ  
ПОКАЗНИКІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ПРИБУТКУ ПІДПРИЄМСТВА**

*Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук*

Підписано до друку \_\_.\_\_.2010.  
Формат 60х90/16. Ум.-друк. арк. – 1,9. Авт. арк. – 1,9.  
Тираж 100 прим.

Друкарня СПД Щербенок С. Г.  
Свідоцтво ДП 126-р від 12.10.2004.  
вул. Рокозовського, 5/3, м. Кривий Ріг, 50027.  
(0564) 92-20-77.