

Міністерство освіти і науки України
Національний гірничий університет

Зеленський Олександр Семенович

УДК 622.142.5 : 622.271

**МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ МАРКШЕЙДЕРСЬКОГО
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПЛАНУВАННЯ ТА ОБЛІКУ ВИДОБУТКУ
В ІНФОРМАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ
УПРАВЛІННЯ РУДНИМ КАР'ЄРОМ.**

Спеціальність 05.15.01–"Маркшейдерія"

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Дніпропетровськ – 2003

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі маркшейдерії та геодезії

Криворізького технічного університету

Міністерства освіти і науки України

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор

Федоренко Павло Йосипович

завідувач кафедри маркшейдерії та геодезії

Криворізького технічного університету

Міністерства освіти і науки України

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор **Парчевський Леонід Якович**, професор кафедри маркшейдерії Національного гірничого університету Міністерства освіти і науки України (м. Дніпропетровськ)

доктор технічних наук, професор **Завсєгдашний Валентин Олександрович**, завідувач кафедри економічної кібернетики Криворізького технічного університету Міністерства освіти і науки України

доктор технічних наук, професор **Креніда Юрій Федорович**, професор кафедри геоінформатики та геодезії Донецького державного технічного університету Міністерства освіти і науки України

Провідна установа – Донбаський гірничо-металургійний інститут Міністерства освіти і науки України, кафедра маркшейдерської справи і геодезії (м. Алчевськ).

Захист дисертації відбудеться 6 лютого 2003 р. о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.04 при Національному гірничому університеті Міністерства освіти і науки України

(49027, Дніпропетровськ, пр. К. Маркса, 19).

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного гірничого університету Міністерства освіти і науки України

(49027, м. Дніпропетровськ, пр. К.Маркса, 19).

Автореферат розісланий 2 січня 2003 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради,
кандидат технічних наук, доцент

С. В. Бегічев

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Перспектива залучення гірничих підприємств до системи світової економіки вимагає скорочення собівартості та підвищення якості продукції, росту продуктивності праці. При розробці родовищ корисних копалин відкритим способом це забезпечується освоєнням нових машин і механізмів та, насамперед, впровадженням інформаційних систем управління виробництвом із застосуванням сучасних технічних та інструментальних засобів.

Прийшов час розробки і використання інформаційних систем, що забезпечують збір і накопичення інформації з мінімальними витратами праці та високою надійністю, обробку інформації із застосуванням більш ефективних методів для прийняття якісно-нових рішень щодо управління гірничим виробництвом. Ефективність інформаційної системи управління кар'єром у значній мірі визначається рівнем її основного компоненту – маркшейдерського забезпечення (МЗ).

Традиційно маркшейдерські та геологічні служби на рудних кар'єрах виконують найбільш трудомісткі роботи при плануванні гірничих робіт, обліку видобутку руд і розкривних порід. Важливість цих робіт полягає в тому, що вони в значній мірі впливають на економіку підприємства. В Україні автоматизовані локальні маркшейдерські задачі. Однак, вони не відповідають вимогам системного підходу, вирішуються без єдиної інформаційної бази та інформаційного зв'язку із задачами планування і управління гірничими роботами, засновані на використанні спрощених, недостатньо точних методів. Крім того, при підрахунку об'ємів виїмки гірської маси не вирішені питання поділу її на руду і розкрив з оцінкою якісних показників руди і її сортів. Відсутність інформаційних основ за даними випробування вибухових свердловин обмежує кількість маркшейдерських задач при оперативному плануванні гірничих робіт. У зв'язку з цим необхідно, перш за все, удосконалення методів оперативного підрахунку запасів при плануванні гірничих робіт, маркшейдерського обліку видобутку руд, моделювання родовища і кар'єру та на їх основі створення автоматизованої системи маркшейдерського забезпечення, що у значній мірі визначає ефективність ведення гірничих робіт, повноту і комплексне використання надр.

Ці твердження обумовлюють актуальність постановки і розв'язання наукової проблеми розробки методологічних основ маркшейдерського забезпечення планування та обліку видобутку в інформаційній системі управління рудним кар'єром.

Дисертаційне дослідження автора виконано згідно з пунктом "Розроблення ефективних засобів і технологічних схем видобутку та переробки залізних, марганцевих, хромових та поліметалевих руд, переробки техногенних відходів, які забезпечують підвищення вмісту металу та комплексне використання корисних компонентів" концепції розвитку гірничо-металургійної промисловості України до 2010 року, тематикою НДР Криворізького технічного університету і

Криворізького економічного інституту (№№ державної реєстрації 75018320, 80038575, 81031019, 018400489, 01870043990, 01880026179, 01900010761, 01910046767), а також тематикою НДР (керівник теми) за прямими угодами з ГЗК "Ерденет" (1992-2001 р.).

Мета роботи полягає в підвищенні ефективності планування гірничих робіт та обліку видобутку руд на основі удосконалення методів оперативного підрахунку запасів, оконтурювання рудних тіл по горизонтах кар'єру, маркшейдерського обліку видобутку руд, моделювання родовища і кар'єру.

Для досягнення поставленої мети в дисертації сформульовані наступні **основні задачі досліджень**:

- дослідження методів оперативного підрахунку запасів і на його основі вишукування більш ефективних;
- удосконалення оцінки точності прогнозування вмісту показників у заданих контурах за даними вибухових свердловин вищележачого горизонту;
- удосконалення оконтурювання рудних тіл по горизонтах кар'єру на основі даних експлуатаційної розвідки, а також розробка методів оконтурювання за даними випробування вибухових свердловин;
- обґрунтування методики цифрового моделювання родовища і кар'єру з можливістю перетворення цифрових даних у векторно-слоєву графіку і навпаки;
- розробка методу визначення об'ємів виїмки гірської маси у блоках довільної геометричної форми з поділом її на руду і розкритв, а також визначення якісних показників у руді і її сортах;
- геометрична побудова оптимальних контурів за результатами вирішення задач планування гірничих робіт;
- розробка методології побудови автоматизованої системи МЗ планування та обліку видобутку у рудному кар'єрі.

Основна ідея роботи полягає у комплексному використанні структурних і автокореляційних функцій (при оцінці закономірностей мінливості показників), методів дистанційного зважування, цифрового моделювання родовищ і кар'єру для створення маркшейдерського забезпечення планування та обліку видобутку в інформаційній системі управління рудним кар'єром.

Об'єктом дослідження є система маркшейдерського забезпечення планування та обліку видобутку на рудних кар'єрах, а також мінливість властивостей корисних копалин у просторі покладу.

Предметом дослідження є прогнозування якісних показників, моделювання родовища і кар'єра, оперативний підрахунок запасів, облік видобутку руд.

Основні наукові положення, що захищаються в дисертації:

1. Спільне використання даних випробування розвідницьких та вибухових свердловин заданого і вищележачого горизонту, а також застосування методів багатокутників з оцінкою їхньої геометрії щодо просторової мінливості показників і сіток з інтерполяцією у вузлах сіті способами дистанційного зважування у сполученні з автокореляційними функціями підвищує на 40-60% точність оперативного підрахунку запасів для рудних кар'єрів.

2. Метод багатокутників і інтерполяційний метод зворотних відстаней при оперативному підрахунку запасів дають однакові результати у внутрішній частині блоку, а незначне відхилення в периферійній частині залежить від кількості пар свердловин, багатокутники яких стикаються, і одна з них знаходиться поза контуром блоку, а також від різниці показників у цих свердловинах, що надає перевагу методу багатокутників у можливості оконтурювання руди і її сортів за даними випробування вибухових свердловин та наочній графічній інтерпретації, а інтерполяційному методу – у можливості виділення заданих об'ємів і металів усередині блоку.

3. Розподіл об'ємів виїмки гірської маси за числовими відмітками верхньої і нижньої брівок уступу на розкритті, руду і сорти руд забезпечується представленням виїнятого блоку сукупністю елементарних призм у вузлах інтерполяційної сіті по площі проекції блоку з визначенням в призмі її висоти за числовими відмітками, а вмісту – за даними випробування вибухових свердловин, що забезпечує облік видобутку руди об'ємом більше 500 тис. м³ з похибкою не більше 2%.

4. “Зворотній” підрахунок запасів для побудови контуру у межах заданої області за вхідними даними об'єму і вмістів досягається шляхом набору елементарних об'ємів з кінцевим вибором положення сторони, що змінюється, у зоні припустимих значень і дозволяє з похибкою до 5% побудову контурів за результатами оптимізації планування гірничих робіт з використанням лінійних економіко-математичних моделей.

Наукова новизна результатів досліджень полягає в наступному:

1. Розроблені методологічні основи автоматизованої системи МЗ планування та обліку видобутку, що дозволяє при мінімальних витратах праці підвищити точність геолого-маркшейдерських розрахунків і ефективність планування гірничих робіт на рудних кар'єрах.

2. Уперше запропоновані модифікації методу багатокутників і інтерполяційного методу зворотних відстаней з урахуванням просторової мінливості якісних показників, що забезпечується в методі багатокутників зважуванням показників за добутками площ впливу свердловин і значень радіусів кореляції автокореляційних функцій в напрямку орієнтації багатокутників, а при інтерполяції значень показників у вузлах сіті – зважуванням за добутками зворотних відстаней до найближчих свердловин і радіусів кореляції в напрямку до цих свердловин. Доведено, що при оперативному підрахунку запасів використання модифікацій підвищує точність цих методів на 10-15%.

3. Удосконалена оцінка точності підрахунку вмістів у заданих контурах за даними випробування вибухових свердловин вищележачого горизонту, яка залежить від характеру лінійного тренду зміни вмістів з глибиною покладу, співвідношення сіті розвідницьких і вибухових свердловин, площі контуру, способу випробування, висоти уступу, значень випадкової та хвильової складових мінливості вмісту за площею і висотою уступу, а також початкової фази хвилі за глибиною покладу на початку інтервалу прогнозу.

4. Уперше науково обґрунтоване визначення об'ємів вийнятої гірської маси з поділом на руду, розкрив і сорти руд за числовими відмітками верхніх та нижніх брівок уступів на основі комплексного використання електронної тахеометрії, інтерполяційних методів і горизонтального зсуву контурів по верхній і нижній брівках відносно один одного за даними цифрових моделей родовища і кар'єру.

5. Уперше запропоновані автоматизований вибір методів оперативного підрахунку запасів шляхом зіставлення їх результатів окремо за даними розвідницьких і вибухових свердловин у прямокутниках з різними співвідношенням довжин сторін і орієнтацією, а також вибір напрямку відпрацювання забою уздовж найбільшого радіусу кореляції автокореляційних функцій, що забезпечує зменшення коливань вмісту в рудопотоці.

6. Уперше розроблений і обґрунтований інформаційний базис МЗ, що забезпечує мінімальні експлуатаційні витрати праці і високу надійність на основі:

- цифрової моделі родовища за первинними даними випробування вибухових і розвідницьких свердловин, контурів рудних тіл по горизонтах кар'єру;
- цифрової моделі кар'єру у вигляді поліліній брівок уступів і горизонталей денної поверхні кар'єру з можливістю перетворення цифрових даних у векторно-слоєву графіку і навпаки;
- даних знімального обґрунтування й опорної сіті кар'єру.

7. Уперше визначена систематична складова технічної погрішності випробування вибухових свердловин шляхом пошуку в базі даних найближчих розвідницьких свердловин для зіставлення з їх відносно точними результатами хімічного аналізу кернового випробування; при наявності систематичної погрішності як випадкові величини доцільно розглядати відношення двох порівнюваних показників, а середньозважене значення випадкових величин щодо відстані між пробами визначає поправку для виключення систематичної складової технічної погрішності випробування.

Наукове значення роботи полягає у розвитку наукових основ розробки автоматизованої системи МЗ рудних кар'єрів на основі ефективних методів обліку видобутку руд, оперативного підрахунку запасів, прогнозування якісних показників в умовах обмеженої інформативності розвідницьких даних, оконтурювання рудних тіл по горизонтах кар'єру, графічної побудови контурів за значеннями об'ємів і якісних показників при оптимізації планування.

Практичне значення роботи полягає в розробці методики, алгоритмів і програмного забезпечення автоматизованої системи МЗ планування та обліку видобутку на рудних кар'єрах на базі даних цифрових моделей родовища і кар'єру та знімального обґрунтування, у тому числі її функціонально-незалежних модулів: підрахунку запасів, оконтурювання рудних тіл по горизонтах кар'єру, обліку видобутку руд, ведення графічної документації, оцінки просторової мінливості корисних копалин, побудови поліному заданого ступеня.

Методи досліджень. У відповідності зі специфікою досліджень у роботі використовуються такі методи: автокореляційні і структурні функції, геостатистика і теорія інформації – для прогнозування якісних показників і оцінки просторової мінливості властивостей корисних копалин; графоаналітичне моделювання розміщення якісних показників – для оконтурювання рудних тіл по горизонтах кар'єру; чисельно-аналітичний, теорії погрішностей, ймовірностей і математичної статистики, експериментальні дослідження – для порівняльної оцінки і вишукування методів оперативного підрахунку запасів і маркшейдерського обліку видобутку; узагальнення теорії і практики моделювання родовищ та кар'єрів – для розробки цифрових моделей родовища і кар'єру; теорія алгоритмів, мови програмування та управління базами даних – для розробки автоматизованого МЗ.

Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджується: теоретичним узагальненням методів, що використовуються і модифікуються автором при автоматизації маркшейдерських задач протягом 20 років; високою збіжністю теоретичних і експериментальних досліджень у реальних умовах; застосуванням сучасних наукових методів досліджень; результатами впровадження розробок на гірничо-збагачувальних комбінатах чорної і кольорової металургії.

Особистий внесок здобувача полягає: в отриманні наукових результатів, що виносяться на захист; у формулюванні ідеї, мети, наукових положень і задач дослідження; у розробці методології побудови автоматизованої системи МЗ планування та обліку видобутку; у дослідженні, розробці і реалізації методів оперативного підрахунку запасів та визначення об'ємів виїмки гірської маси з поділом її на руду і розкриття за даними зйомки електронними теодолітами; у постановці та розробці інформаційної бази МЗ на основі цифрових моделей родовища і кар'єру; в оцінці точності підрахунку об'ємів виїмки гірської маси та підрахунку запасів за даними вибухових свердловин вищележачого горизонту; у розробці методів інтерполяції й оконтурювання рудних тіл по горизонтах кар'єру; у розробці методики графічної побудови оптимальних контурів за результатами рішення задач планування.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і зміст роботи доповідалися на республіканській науково-технічній конференції "САПР горнодобывающих предприятий" (Ташкент, 1984); на республіканській науково-технічній конференції "Совершенствование

совместной (открыто-подземной) разработки рудных месторождений” (Кривий Ріг, 1984); на всесоюзній науково-технічній конференції “Актуальные проблемы организации и управления в горном производстве” (Москва, 1986); на всесоюзній науково-технічній нараді “Разработка и применение систем автоматизированного проектирования и АСУ горного производства” (Алма-Ата, 1987); на I і II міжнародних симпозиумах “Оперативный контроль и управление качеством минерального сырья при добыче и переработке” (Кривий Ріг, КТУ, 1996; Ялта, 1999); на II і III міжнародних науково-практичних конференціях “Проблемы геоинформатики при комплексном освоении недр” (Дніпропетровськ, НГАУ, 2000, 2001); на IV всеукраїнській науково-методичній конференції “Комп'ютерне моделювання та інформаційні технології в науці, економіці та освіті” (Кривий Ріг, 2002); на міжнародному науково-технічному семінарі “Щодо досвіду застосування цифрових технологій виробництва маркшейдерських робіт на гірничо– та нафтогазовидобувних підприємствах” (Кривий Ріг, 2002); на науково-технічних конференціях Криворізького технічного університету; на технічних нарадах СП “Ерденет” і ВАТ “ПівдГЗК”.

Реалізація роботи. Основні положення дисертації використані при розробці автоматизованої системи маркшейдерського забезпечення планування та обліку видобутку на рудних кар'єрах. При цьому виділено 3 основних етапи. На першому етапі розроблялася задача автоматизованого підрахунку запасів на інформаційній базі за даними розвідницьких свердловин. Вона була впроваджена на Михайлівському ГЗК (1977 – 1982 рр.). На другому етапі (1985 – 1991 рр.) значно розширений комплекс задач МЗ знаходився в експлуатації на монголо-російському спільному підприємстві (СП) “Ерденет”. У 1988 – 1989 рр. задачі МЗ були впроваджені на ЦГЗК. Третій етап розробки МЗ пов'язаний з переходом на персональні комп'ютери. Комплекс задач значно розширений і модифікований, створена система МЗ планування та обліку видобутку у складі інформаційної системи управління кар'єром. Вона поетапно впроваджувалася на СП “Ерденет” (1992 – 2001 рр.). На цьому підприємстві економічний ефект від повного впровадження автоматизованого МЗ у інформаційній системі управління кар'єром склав 690764 ам. дол., дольова участь автора 552611 ам. дол. При локальному використанні автоматизованої системи МЗ (без інформаційного забезпечення задач планування) економічний ефект склав 273764 ам. дол., дольова участь автора 219011 ам. дол. Частина розробленого програмного забезпечення передана для впровадження ВАТ “ПівдГЗК”.

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи опубліковані в 31 науковій роботі, у тому числі 26 – у фахових наукових виданнях, з них 2 – у колективних монографіях. З числа фахових наукових видань – 13 одноосібних робіт.

Обсяг і структура дисертації. Дисертація складається із вступу, шести розділів, висновків і рекомендацій, списку використаних джерел із 222 найменувань, додатків. Зміст дисертації викладений на 305 сторінках машинописного тексту, з яких 22 таблиці, 57 рисунків; додатки на 27

сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовані мета, ідея, наукова новизна і практичне значення отриманих результатів. Наведені основні наукові положення, що виносяться на захист, дані про публікації, апробацію і реалізацію розробок та результатів досліджень, наукове і практичне значення роботи.

У **першому** розділі виконаний аналіз сучасного стану моделювання родовищ і кар'єрів, оперативного підрахунку запасів і обліку видобутку руд. Наведено стан і тенденції розвитку комп'ютеризації маркшейдерського забезпечення гірничих робіт у кар'єрі. Сформульовано задачі досліджень.

Значний вклад у розвиток маркшейдерського забезпечення гірничих робіт внесли О.Ф. Базанов, В.О. Букринський, О.Ф. Борзих, В.М. Гудков, В.В. Єршов, В.О. Завсєгдашний, С.Д. Коробов, Ю.Ф. Креніда, С.Г. Могильний, Л.Я. Парчевський, В.Г. Столчнев, І.Б. Табакман, І.Н. Ушаков, П.Й. Федоренко, В.Я. Фінковський, І.І. Фінарєвський та ін. Однак постійно зростаючий рівень обчислювальної техніки та інформаційних технологій вимагає подальшого удосконалення МЗ, вишукування нових методів маркшейдерських розрахунків, скорочення трудомісткості підготовки інформації і збільшення частки творчої праці фахівців. В області автоматизованого МЗ кар'єрів визначені наступні найбільш важливі задачі: підрахунок запасів, облік видобутку руд, забезпечення інформаційного базису для автоматизованого планування і управління гірничими роботами, моделювання родовища та кар'єру, автоматизація зйомочних робіт і зйомочного обґрунтування, ведення графічної документації.

В Україні не існує робіт, що могли б у повному обсязі вирішувати ці задачі. Відсутні єдині інтегровані пакети, здатні конкурувати з передовими зарубіжними розробками США, Франції, Англії. Недоліком задач, що експлуатуються, є не тільки низький рівень програмного забезпечення, головне тут – недостатнє опрацювання функціональної частини, тобто методів рішення, які забезпечують реальні ефективні впровадження. Існуючі зарубіжні розробки мають високий рівень програмної реалізації, однак відсоток їхнього використання незначний через відмінності у технології ведення гірничих робіт, що традиційно склалася у вітчизняній практиці. Ці пакети дорого коштують, і для їхньої адаптації потрібно вивчення нестандартного програмного забезпечення. Значні успіхи досягнуті при визначенні об'ємів гірської маси з використанням наземної стереофотограмметрії, аерофото- і космічної зйомок, однак тут не вирішується важлива для практики задача розподілу гірської маси на руду і розкриття, а також визначення якісних показників руди. Використання існуючих цифрових моделей родовищ (ЦМР) і цифрових моделей кар'єру (ЦМК) вимагає значних витрат на підготовку великого обсягу геолого-маркшейдерської

інформації. Не існує рекомендацій зі створення інформаційних основ та оконтурювання рудних тіл за даними випробування вибухових свердловин. Потрібне удосконалення методів оперативного підрахунку запасів з використанням даних всіх проведених свердловин. Не приділяється належна увага електронній тахеометрії. Оптимізаційні задачі планування вирішуються автономно, без використання автоматизованого МЗ, що значно знижує їхню ефективність. У цьому випадку недостатньо тільки реалізації економіко-математичних моделей. Не менш важливі висока оперативність та достовірність обробки геолого-маркшейдерських даних.

З аналізу виконаних робіт впливає необхідність розробки методологічних основ маркшейдерського забезпечення планування та обліку видобутку в інформаційній системі управління рудним кар'єром. Для вирішення цієї проблеми в даному розділі сформульовані задачі досліджень, обґрунтовані об'єкти досліджень і визначена принципова схема організації автоматизованої системи МЗ.

У другому розділі наведена оцінка просторової мінливості показників на родовищах, які досліджуються, обґрунтована методика оперативного підрахунку запасів і оконтурювання рудних тіл по горизонтах кар'єру. Наведена оцінка точності оперативного підрахунку запасів, у т.ч. прогнозування вмістів у заданих контурах за даними вибухових свердловин вищележачого горизонту.

Оцінка просторової мінливості основних планових показників виконувалася з використанням автокореляційних та структурних функцій. При цьому отримані радіуси кореляції мінливості основних показників, а також погрішності випробування при різній геометрії сіті. Дослідження автоматизовані на інформаційній основі цифрової моделі родовища (ЦМР), що містить результати випробування вибухових і розвідницьких свердловин.

За кордоном для оперативного підрахунку запасів (у заданих контурах) пріоритетним є метод сіток. При цьому необхідно покривати блоки досить дрібною сіттю, кожен вузол якої вимагає інтерполяції щодо найближчих свердловин. Середнє арифметичне значення показників у вузлах сіті оцінює їх у цілому по блоку. З відомих методів інтерполяції, в основному, використовуються методи зворотних і квадратів зворотних відстаней, тобто окремі випадки методу середнього зваженого для різних значень ступеня (α) зворотних відстаней.

У роботі доведено, що при оперативному підрахунку запасів метод багатокутників не поступається за точністю інтерполяційним методам зворотних відстаней і, у ряді випадків, є більш ефективним. При оперативному підрахунку запасів традиційне використання цього методу дещо змінюється. Як представлено на рис. 1, багатокутники повинні будуватися навколо свердловин всередині блоку (контур) та в найближчій до нього зоні. Вплив свердловини визначається площею, утвореною перетинанням її багатокутника з контуром.

Проведені дослідження свідчать про те, що у внутрішній частині блоку розрахунки

інтерполяційним методом зворотних відстаней та методом багатокутників мають однакові результати. Внутрішня частина блоку визначається як сукупність багатокутників, у побудові яких беруть участь свердловини, що знаходяться всередині контуру чи на його межі. Як представлено на рис. 1, у побудові багатокутника свердловини 1 беруть участь свердловини 2 – 8, що знаходяться всередині контуру. Відхилення значень показників, обчислених в цілому за контуром, визначаються за формулою

$$\Delta C_i = \frac{C_i - C_{\text{середн}}}{C_{\text{середн}}} \quad (1)$$

де $t = 2$ для імовірності $P = 0.954$; n – кількість пар свердловин, багатокутники яких стикаються, і одна з них знаходиться поза контуром блоку; ΔC_i – різниця значень показника в цих свердловинах.

Рис. 1. Порівняльна оцінка точності методів сіток та багатокутників

Зі збільшенням ступеня α інтерполяційний метод середнього зваженого наближається до методу багатокутників. $\Delta C \approx 0$ при $\alpha = 3$.

У роботі наведена модифікація методу багатокутників, яка дозволяє врахувати природну мінливість показників. Для оцінки мінливості параметрів у різних напрямках використано індикатрису, яка побудована по критичних радіусах кореляції автокореляційних функцій. На рис. 2а показано індикатрису мінливості $C_{\text{заг}}$ на одній з ділянок кар'єру ГЗК "Ерденет". Вплив анізотропії має місце тільки для багатокутників, які "витягнуті" в одному з напрямків. Для багатокутника, наведеного на рис. 2б, цим напрямком є пряма PP_1 , відносно якої будується прямокутник, що описує багатокутник. Відношення більшої сторони прямокутника l_{max} до меншої l_{min} визначає ступінь асиметрії багатокутника. Кут α між прямою PP_1 і віссю ординат визначає по індикатрисі критичний радіус кореляції r_k . Потім обчислюється поправочний коефіцієнт на анізотропію

$$K_{\alpha} = \frac{l_{\text{max}}}{l_{\text{min}}} \quad (2)$$

Остаточний вміст у заданому контурі методом багатокутників визначається за формулою

$$C_i = \frac{C_i + K_{\alpha} \cdot S_i}{N + K_{\alpha} \cdot S_i} \quad (3)$$

де N – кількість свердловин; C_i , h_i , S_i , K_{α} – відповідно вміст, висота, площа впливу і поправочний коефіцієнт на анізотропію по i -й свердловині.

Рис. 2. Врахування просторової мінливості показників

Врахування анізотропії на основі індикатриси використано і в методі зважених середніх. Значення показника у вузлі сіті A визначено за формулою

де N – кількість найближчих до вузла свердловин; C_i – вміст у i -й свердловині; d_i – відстань від вузла до i -ої свердловини; r_i – радіус кореляції в напрямку від вузла до i -ої свердловини.

На основі оцінки хвильового характеру мінливості показників визначена кратність зменшення погрішності при підрахунку вмістів у заданих контурах за даними випробування вибухових свердловин у порівнянні з використанням даних експлуатаційної розвідки. Погрішність зменшується в 10 разів. Це дозволило в автоматизованому режимі порівнювати результати підрахунку запасів різними методами за даними експлуатаційної розвідки з відносно точними розрахунками за даними вибухових свердловин. Підрахунок запасів виконується в різних областях по горизонтах кар'єру у прямокутниках з площею, порівнюваною із середньою площею контурів відповідно при кварталному чи річному плануванні. При цьому розглядається різне співвідношення сторін прямокутника і його просторове розташування.

Експериментальні і теоретичні дослідження показали, що в умовах складноструктурних рудних родовищ найбільш ефективними при оперативному підрахунку запасів є методи багатокутників та інтерполяційні методи зворотних відстаней. Ці методи за точністю близькі між собою і, в порівнянні з методом середнього арифметичного, дозволяють зменшити погрішність обчислення показників на 40-50%, а їхні модифікації, які запропоновані, – на 50-60%. При цьому методи багатокутників більш наочні при графічній інтерпретації, дозволяють отримати координати виділених ділянок сортів руд і довжину контакту “руда-розкриття”.

При шламовому випробуванні вибухових свердловин систематична технічна погрішність може бути істотною. У більшості випадків вміст у шламових пробах визначається рентгеноспектральним аналізом. При налагодженому веденні рентгеноспектрального аналізу може мати місце тільки випадкова складова погрішності. Систематична погрішність виключається і при обробці матеріалу проби. Погрішність взяття проби може бути значною. У практиці випробування не розглядається зміна вмісту у пробі, пов'язана зі структурно-фізичними властивостями мінералів і технологією буріння. Так, на ГЗК "Ерденет" встановлено, що м'які корисні компоненти у великій кількості "виколупуються" у процесі тертя бурового долота об стінки свердловин і виносяться на поверхню, тобто буровий шлам збагачується металом і показує завищений вміст. У зв'язку з цим запропоновано методику автоматизованої оцінки систематичної складової технічної погрішності шламового випробування вибухових свердловин шляхом пошуку в базі даних (БД) пар найближчих вибухових і розвідницьких колонкових свердловин та порівняльного аналізу їхнього випробування. Радіус пошуку визначається з умови представництва вибірки. Наявність систематичної погрішності показників, які порівнюються, оцінюється за критеріями "знаків" та Стьюдента (Т-критерій). При наявності систематичної погрішності визначаються поправочні коефіцієнти для класів вмістів.

Наявність ЦМР, що містить дані випробування розвідницьких і вибухових свердловин, дозволяє при підрахунку запасів максимально використовувати всю інформацію, яка є у моделі, у т.ч. дані випробування вибухових свердловин вищележачого горизонту. На Михайлівському ГЗК автором більше 15 років тому були здійснені спроби використання даних випробування вибухових свердловин вищележачого горизонту. Однак з організаційних і технічних причин ЦМР за даними вибухових свердловин не була впроваджена. Створення такої ЦМР дозволило оцінити запропоновану методику, внести корективи і доповнення в теоретичну частину досліджень.

З огляду на особливості зміни властивостей корисних копалин, а також наявність помилок у їх визначенні, розрізняють природну і випадкову мінливості. Природна мінливість обумовлена особливостями розміщення показників і проявляється у вигляді трендів та хвилеподібних коливань. Випадкова мінливість проявляється у відхиленні одержаних значень від закономірного розміщення показника й обумовлена технічними помилками у визначенні показника, а також змінами, що не уловлюються розвідницькою сіткою.

Проведені попередні дослідження за даними свердловин детальної розвідки на родовищах Михайлівського ГЗК і ПівдГЗК не виявили наявності лінійного тренду в зміні вмісту з глибиною покладу, однак він явно просліджувався на родовищі ГЗК "Ерденет". На цьому родовищі для більш точної оцінки лінійного тренду запропоновано використовувати результати підрахунку запасів по горизонтах кар'єру в тому ж самому значному за площею контурі. Координати вершин контуру X, Y по всіх горизонтах залишаються незмінними. Автоматизований підрахунок запасів виконано на 26 горизонтах у контурі площею 630000 м². За отриманими даними побудована згладжена кусочно-лінійна функція залежності вмісту Cu_{заг} від відміток горизонтів кар'єру (N_{гор}). Як видно з рис. 3, вміст міді зменшується з глибиною покладу. В інтервалі горизонтів 1085÷1325 функція має вигляд

$$Cu_{заг} = 0.009 (N_{гор} - 1070)/15 + 0.421, \quad (5)$$

а в інтервалі горизонтів 1340÷1445

$$Cu_{заг} = 0.048 (N_{гор} - 1070)/15 + 0.281. \quad (6)$$

При використанні даних випробування вибухових свердловин вищележачого горизонту значення Cu_{заг} зменшувалися на такі поправки: 0.009% – для горизонтів 1085÷1325; 0.048% – для горизонтів 1340÷1445.

У загальному випадку погрішність оцінки вмісту за даними випробування вибухових свердловин вищележачого горизонту $\Delta C_{пр}$ являє собою векторну суму погрішностей $\Delta C_{гл}$ і $\Delta C_{пл}$, які обумовлені відповідно мінливістю показника за глибиною і площиною покладу:

$$, \quad (7)$$

де $\Delta C_{\text{гл1}}$, $\Delta C_{\text{гл2}}$ – відповідно погрішності, обумовлені випадковою і природною складовими мінливості вмісту за глибиною покладу.

Погрішність $\Delta C_{\text{пл}}$ визначена за даними випробування вибухових свердловин із використанням структурних графіків за методикою В.М. Гудкова і залежить від амплітуди, довжини півхвилі, щільності випробування і випадкової складової погрішності.

Для визначення $\Delta C_{\text{гл}}$ структурні графіки будувалися за результатами кернавого випробування глибоких свердловин з урахуванням збільшення (зменшення) значень результатів випробування на величину встановлених поправок, визначених за отриманим лінійним трендом. За структурними графіками визначена погрішність $\Delta C_{\text{гл1}}$, а також амплітуда (A) і довжина півхвилі (L) для визначення $\Delta C_{\text{гл2}}$. Значення $\Delta C_{\text{гл2}}$ залежить від способу випробування вибухових свердловин. Звичайно випробування виконується по буровому шламу чи геофізичним способом. Результат випробування шламу можна віднести до центру свердловини; при геофізичному випробуванні можна визначити вміст у будь-якому відрізку свердловини, у тому числі й у перебурі. У залежності від способу випробування отримані вирази для визначення складової $\Delta C_{\text{гл2}}$. При геофізичному випробуванні

$$\Delta C_{\text{гл2}} = \frac{A \cdot L}{L_0} \cdot \Delta C_{\text{пл}} \quad (8)$$

а при шламівому випробуванні

$$\Delta C_{\text{гл2}} = \frac{A \cdot L}{L_0} \cdot \Delta C_{\text{пл}} \cdot K \quad (9)$$

Відсоток зменшення погрішності середнього значення показника за рахунок прогнозування можна виразити відношенням

$$\Delta C_{\text{р}} / \Delta C_{\text{р0}}, \% \quad (10)$$

де $\Delta C_{\text{р}}$ – погрішність випробування розвідницьких свердловин; $S_{\text{б}}$ і $S_{\text{р}}$ – відповідно середні площі впливу вибухових і розвідницьких свердловин.

Приведені в роботі результати теоретичних досліджень на Михайлівському ГЗК і ГЗК "Ерденет" свідчать про доцільність пропонованого прогнозу. Це підтверджується проведеними експериментальними дослідженнями. Результати чисельних підрахунків запасів (більш ніж у 500 контурах) на ГЗК "Ерденет" показали, що погрішності обчислення вмісту міді та молібдену за даними випробування свердловин вищележачого горизонту у порівнянні з використанням даних випробування розвідницьких свердловин у середньому знизилися у 2 рази. Значний економічний ефект можна отримати за рахунок скорочення геологорозвідувальних робіт.

Оконтурювання рудних тіл по горизонтах кар'єру виконано з використанням ізоліній, побудованих за допомогою відомого пакета "Surfer". Вхідною інформацією є координати X, Y і

значення показника Z у розвідницьких свердловинах. Пакет умовно складається з трьох незалежних модулів. У першому модулі обирається спосіб інтерполяції. Результатом рішення другого і третього модулів є відповідно побудова ізоліній та топофункцій. Пакет "Surfer" виводить ізолінії на екран дисплея і записує їх у файл ізоліній, що не може бути використаний для отримання замкнутих контурів рудних тіл. Насамперед це відноситься до ізоліній, побудованих на межах заданої прямокутної області. Для подальшої роботи з результатами рішення "Surfer" обрано відомий графічний пакет "AutoCAD". У графічному середовищі цього пакету корегуються контури рудних тіл і за допомогою розробленого програмного забезпечення записуються в ЦМР. Для вибору методу інтерполяції порівнюються контури рудних тіл, які будуються відповідно за даними випробування розвідницьких і вибухових свердловин. Якщо користувача не влаштовує наявний у пакеті спосіб інтерполяції, можна використати власні розробки і для побудови ізоліній підключити другий модуль пакету. У зв'язку з цим запропонований спрощений алгоритм інтерполяції у вузлах сіті поліномом будь-якого заданого ступеня. На прикладі поліному п'ятого ступеню залежність якісних показників (z) від координат точок (x, y) має вигляд

$$(11)$$

де A_1, A_2, \dots, A_{21} —коєфіцієнти поліному, що підлягають визначенню.

Відомо, що для визначення коєфіцієнтів A_1, A_2, \dots, A_{21} необхідне вирішення системи з 21 лінійного рівняння, які мають вигляд

$$, \quad (12)$$

де $a_{\ell s}$ —коєфіцієнти лінійних рівнянь; b_{ℓ} —вільні члени системи рівнянь; ℓ, S —відповідно номер рядка і стовпця системи рівнянь.

У загальному випадку число рівнянь у залежності від ступеня полінома α визначено виразом $m = (\alpha + 1)(\alpha + 2)/2$. Вирішення системи лінійних рівнянь не представляє складності. Значення коєфіцієнтів $a_{\ell s}, b_{\ell}$ при невідомих A_1, A_2, \dots, A_m пропонується визначати за такими залежностями:

$$a_{\ell s} \quad (13)$$

де x_i, y_i, z_i —координати і значення показника в i -й свердловині; n —кількість свердловин; k_{ℓ}, p_{ℓ} —показники ступеня, що залежать від номера рядка ℓ ; k_s, p_s —показники ступеня, що залежать від номера стовпця S :

$$; \quad (14)$$

Проводити оконтурювання за даними вибухових свердловин із використанням ізоліній недоцільно. При такій щільній сіті випробування контур можна проводити посередині між свердловинами. Основна ідея виділення ділянок сортів руд полягає в наступному. Навколо свердловин будуються багатокутники. За даними випробування свердловини всім сторонам її багатокутника присвоюється код сорту руди. З усієї сукупності сторін багатокутників тільки співпадаючі сторони з різними кодами формують контури ділянок сортів руд. Аналогічно визначаються лінії контактів руд з породами, що засмічують.

У **третьому розділі** наведено обґрунтування методики визначення вийнятих об'ємів гірської маси з виділенням об'ємів розкриву і руди, а також визначенням якісних показників у руді і її сортах.

Автоматизований облік видобутку виконується з використанням електронних теодолітів, ЦМР і цифрової моделі кар'єру (ЦМК), що містить координати брівок уступів по горизонтах кар'єру.

Методика обліку видобутку включає 3 етапи. На першому етапі за контурами верхньої і нижньої поверхні вийнятого блоку визначається контур його проекції на горизонтальну площину. Для простоти пояснень на рис. 4 показані контури простих конфігурацій. Кожна і-а точка верхнього контуру (позначеного безперервними відрізками) з'єднується по черзі з усіма j-ми точками нижнього контуру. Тобто будуються прямі через точки 1–7, 1–8, 1–9, 1–10, 1–11, 1–12, 2–7 ... і т.д., рівняння яких $aX + bY + c = 0$. У кожне рівняння підставляються координати верхнього і нижнього контурів (крім і-ої та j-ої точок). Якщо значення виразу $aX + bY + c$ для всіх точок, що підставляються, буде з одним знаком, то відрізок між і-ю та j-ю точками є частиною контуру проекції на горизонтальну площину. Як видно з рис. 4, такими сполученими відрізками є $\overline{4,10}$ і $\overline{1,7}$. З'єднання двох зовнішніх віток через граничні точки 4, 10, 7, 1 утворює проекцію блоку на горизонтальну площину. Наведений приклад розкриває ідею формування контуру проекції вийнятого блоку. Однак він не охоплює всіх можливих варіантів конфігурацій двох контурів та їхнього просторового розташування відносно один одного. У загальному випадку число сполучених відрізків може бути різним. У зв'язку з цим використано зсув контурів відносно один одного, що дозволяє завжди одержати тільки 2 сполучених відрізки, які не збігаються і не виходять з однієї точки. Для досягнення мінімального зсуву він виконується по спіралі у круговому напрямку. Спочатку розглядаються зсуви по колу з незначним радіусом R. Обчислювальний процес припиняється, якщо на і-му зсуві визначаються 2 сполучених відрізки. В іншому випадку розглядається наступний j-й варіант з радіусом, збільшеним до величини R·j. Тобто збільшення координат буде дорівнювати

$$\Delta X_{ji} = R \cdot j \cos(360 i / m); \quad \Delta Y_{ji} = R \cdot j \sin(360 i / m), \quad (15)$$

де $i = 1, 2, \dots, m$; m – кількість зсувів для кожного j -го варіанту. Очевидно, що операція зсуву має місце в окремих випадках, коли неможливо побудувати 2 сполучених відрізки.

На другому етапі реалізації алгоритму обчислюється об'єм вийнятого блоку. Як видно з рис. 4, отримані точки сполучення 4, 10, 1, 7 виділяють 4 гілки, що утворюють чотири незалежних контури: по верхній брівці (точки 1, 2, 3, 4, 5, 6); по нижній брівці (точки 7, 8, 9, 10, 11, 12); “видимий” контур, утворений правими вітками (точки 4, 10, 11, 12, 7, 1, 6, 5); “невидимий” контур, утворений лівими вітками (точки 4, 10, 9, 8, 7, 1, 2, 3).

Рис. 4. Підрахунок об'ємів методом сіток

Потім застосовується метод сіток. Область покривається регулярною сіткою. З усіх вузлів сіті вибираються тільки ті, які попадають у контур проекції. Кожен вузол сіті може потрапити в межі тільки двох з чотирьох виділених контурів. Зокрема, вузол “А” (див. рис. 4) попадає одночасно в контур верхньої брівки й у “невидимий” контур; вузол “В” попадає одночасно у “видимий” і “невидимий” контури. У кожному вузлі сіті розглядається елементарна i -а прямокутна призма. Верхня $h_{iВ}$ і нижня $h_{iН}$ відмітки призми обчислюються інтерполяцією щодо числових відміток відповідно першого і другого контурів. Остаточно висота елементарної призми h_i визначається різницею $h_{iВ} - h_{iН}$.

Добуток середнього арифметичного значення висот елементарних призм на площину горизонтальної проекції S визначає об'єм гірської маси вийнятого блоку ($V_{ГМ}$). Якщо $V_{ГМ}$ визначений за маркшейдерською зйомкою у розрихленому стані, то його значення приводиться до об'єму у цілику

$$V_{ГМ} = \frac{1}{K_P} \sum_{i=1}^M h_i \quad (16)$$

де M – кількість вузлів сіті, що потрапили в межі контуру проекції; K_P – коефіцієнт розрихлення.

При визначенні верхньої відмітки передбачене використання характерних точок зйомки на поверхні вийнятого блоку. Наявність ЦМР дозволяє оцінювати об'єм вийнятої гірської маси у цілику по устях вибухових свердловин.

На заключному етапі виконується розподіл об'ємів гірської маси на руду і розкрит з оцінкою вмістів руди і сортів руд. З цією метою здійснюється звертання до ЦМР і пошук вибухових свердловин, найближчих до вийнятого блоку. Об'єм і вміст руди (V_P , C_P) у вийнятому блоці визначається, в основному, з використанням методу сіток за формулами

$$V_P = V_{ГМ} \frac{\sum_{i=1}^N h_{pi}}{\sum_{i=1}^M h_i}; \quad C_P = \frac{\sum_{i=1}^N C_{pi} h_{pi}}{\sum_{i=1}^N h_{pi}}, \quad (17)$$

де N , M – відповідно число “рудних” та усіх вузлів сіті; h_{pi} , C_{pi} – відповідно висота і вміст корисного компонента в “рудному” i -му вузлі (інтерпольоване значення показника, що перевищує

бортовий вміст); h_i – висота у i -му вузлі сіті.

У четвертому розділі наводиться методика розробки цифрової моделі родовища (ЦМР) і кар'єру (ЦМК), а також створення зйомочного обґрунтування.

Ефективність автоматизації маркшейдерських розрахунків у значній мірі залежить від трудомісткості підготовки, оперативності використання, повноти і надійності первинної інформації. Цим вимогам відповідає розроблена інформаційна база, що умовно поділена на нормативно-довідкову інформацію опорної мережі і зйомочного обґрунтування, ЦМР і ЦМК. ЦМР являє собою БД, що містить первинні дані випробування і маркшейдерської зйомки розвідницьких і вибухових свердловин, а також координати контурів рудних тіл по горизонтах кар'єру. ЦМК містить координати верхньої і нижньої брівок уступів, а також горизонталей, що відбивають рельєф денної поверхні кар'єру.

Для формування інформаційного базису у складі автоматизованого МЗ розроблені три модулі: “Зйомочне обґрунтування”, “Формування і ведення ЦМР”, “Ведення ЦМК”.

У модулі "Зйомочне обґрунтування" за результатами зйомки електронним теодолітом визначаються координати і середньоквадратичні погрішності пунктів знімального обґрунтування. Тут у вигляді окремих задач реалізовані методи аналітичних теодолітних ходів, зворотної зарубки, комбінування бічної і прямої зарубок. Як показано в роботі, електронні теодоліти типу Leica і Sokkia з вбудованим мікропроцесором не можуть цілком замінити розроблені задачі визначення координат пунктів зйомочного обґрунтування, що мають значно розширені можливості.

У модулі “Формування і ведення ЦМР” обробляються польові дані зйомки. Крім ручного введення, використовується автоматичне завантаження вхідних даних з магнітних носіїв електронних теодолітів. Результати розрахунку видаються у графічному вигляді на екран дисплея, принтер, графобудівник, а також можуть бути завантажені у стандартні графічні середовища "AutoCAD" та "LisCAD". При зйомці усть вибухових свердловин розраховані декартові координати записуються у ЦМР. Місце кожної вибухової свердловини в базі даних визначає її призначна частина: відмітка горизонту, номер вибухового блоку та номер свердловини. Одночасно з маркшейдерами на блоці геологи рудоуправління відбирають проби і передають їх хімічній і рудоіспитовій лабораторіям. Результати випробування обробляються, видаються у вигляді планів на різні технічні пристрої та записуються у ЦМР. Дані експлуатаційної розвідки записуються безпосередньо у БД по горизонтах кар'єру. За первинними даними глибоких колонкових свердловин детальної розвідки, що включають інтервали випробування, вміст компонентів у кожній пробі, азимутальні і зенітні кути викривлень, здійснюється розрахунок висоти і вмісту різних сортів руд і порід по уступах кар'єру із врахуванням встановлених кондицій. Результати розрахунків видаються на екран дисплея, принтер і записуються у ЦМР. Крім даних по свердловинах, ЦМР містить координати рудних тіл по горизонтах кар'єру.

У модулі "Ведення ЦМК" формується цифрова модель кар'єру, що містить координати брівок уступів по кожному горизонту у вигляді поліліній. Кожна полілінія у БД характеризується координатами вершин і ознакою належності верхній чи нижній брівці уступу або горизонталі, що відбиває рельєф денної поверхні кар'єру. Основна ідея використання поліліній полягає у тому, що вони, як стандартні примітиви (графічні об'єкти), легко обробляються у відомому графічному середовищі "AutoCAD". Для роботи з ЦМК у середовищі "AutoCAD" розроблені програми, які дозволяють завантажувати полілінії з моделі по кожному горизонту і відповідно представляти їх у вигляді примітивів у окремих шарах графічної бази. Крім того, ці програми доповнюють можливості наявних універсальних засобів по редагуванню примітивів, а також забезпечують перетворення графічних об'єктів у цифрове представлення ЦМК.

Формування ЦМР та ЦМК виконується з мінімальними витратами праці одночасно з автоматизацією локальних розрахунків для маркшейдерських і геологічних служб підприємства.

У п'ятому розділі наведена методологія розробки автоматизованого МЗ та його місце в інформаційній системі управління кар'єром. На російсько-монгольському підприємстві "Ерденет" у вигляді інтегрованого пакету розроблено і впроваджено у виробництво автоматизовану систему МЗ. Як видно з рис. 5, пакет включає три основних модулі: "Формування та ведення ЦМР", "Підрахунок запасів", "Підрахунок об'ємів вийнятої гірської маси", а також допоміжні модулі: "Зйомочне обґрунтування", "Оконтурювання рудних тіл", "Ведення ЦМК", "Математичне забезпечення" і "Формування графічної документації".

Рис. 5. Структурна схема автоматизованого МЗ

Модуль "Підрахунок запасів" призначений для визначення об'ємних і якісних показників руд і порід у будь-яких заданих контурах. Координати заданих контурів формуються автоматично при оптимізації планування чи користувачем у режимі запиту. Можливі три способи введення координат заданих контурів: ручний, з використанням діджитайзера і з екрана дисплею. В останньому випадку формування контурів виконується щодо просторового розташування свердловин вибухового блоку. Крім свердловин вибухового блоку на дисплей можна вивести полілінії верхніх і нижніх брівок уступів із ЦМК, з використанням яких можна формувати контури всередині вибухового блоку для визначення об'ємів і вмісту залишків підірваної гірської маси.

Після підготовки контурів здійснюється вибір типу свердловин: вибухових (даного горизонту або вищележачого), розвідницьких (експлуатаційної і детальної розвідки) чи їхнє спільне використання. Потім здійснюється вибір методу підрахунку запасів: середнього арифметичного, багатокутників або сіток з урахуванням їх модифікацій. Для методу сіток задається спосіб інтерполяції (зворотних відстаней, найменших квадратів, точковий "крайгинг"). Передбачена комбінація одного з перерахованих методів з методом горизонтальних розрізів, тобто

додатково використовуються побудовані контури рудних тіл по горизонтах кар'єру.

У кожному заданому контурі визначаються об'ємні та якісні показники балансових і товарних руд з поділом їх на сорти і типи. Планові втрати і засмічення визначаються за довжиною контакту руди і розкриву. У режимі запиту можна вивести на принтер звіт будь-якої структури, у т.ч. підсумкові дані по горизонтах і кар'єру в цілому. При підрахунку запасів за даними вибухових свердловин передбачений вивід на графобудівник контурів сортів руд. Крім того, надається можливість вибору методів підрахунку запасів шляхом автоматизованого формування заданих контурів різних конфігурацій і зіставлення результатів підрахунку за даними розвідницьких і вибухових свердловин. Якщо вхідними даними є результати рішення задач планування (об'єми і вмісти), то здійснюється графічний вивід оптимальних контурів.

Задачі планування гірничих робіт повинні розроблятися з урахуванням максимального використання автоматизованого МЗ. При цьому основне призначення задач планування – реалізація економіко-математичних моделей. МЗ повинно використовуватись для моделювання родовища і кар'єру, оперативного підрахунку запасів, побудови оптимальних контурів.

Оптимізація річного і квартального планування в основному виконується з використанням динамічного або лінійного програмування. У першому випадку підрахунок запасів виконується у блоках правильної форми, у другому – в заданих максимальних контурах (полях варіювання) для одержання оптимальних контурів. Розробниками річного планування Бевзом М.Д. та Кузьміним Л.П. максимально використані можливості МЗ. За одиницю планування прийнятий блок, під яким розуміється вийнята ділянка в межах уступу. Для виділення блоків робочі борти кар'єру поділені вертикальними площинами на зони за ознакою незалежного розвитку фронтів робіт у можливих напрямках. Кожен блок обмежений: зверху покрівлею, а знизу подошвою уступу; положенням фронту гірничих робіт на початок планового періоду (базова сторона); можливим положенням фронту гірничих робіт на кінець планового періоду при максимальній інтенсивності гірничих робіт. Виділені блоки є максимальними, у яких за допомогою автоматизованого підрахунку запасів визначаються об'єми і вмісти руди. Ці дані використовуються при оптимізації планування гірничих робіт, у результаті якої в кожному максимальному контурі визначаються оптимальні значення об'ємів і вмістів. Проблемою залишається одержання координат оптимальних контурів для їхнього виводу на погоризонтні плани. З цією метою запропоноване вирішення нетрадиційної "зворотної" задачі підрахунку запасів: побудова контуру за кількісними значеннями об'єму і вмістів з урахуванням їхніх припустимих відхилень. Максимальний контур покривається регулярною сіткою із заданим кроком t . Напрямок сіті, що накладається, визначає базова сторона AD , як це показано на рис. 6. Вміст у кожному вузлі сіті визначається за даними найближчих свердловин ЦМР. Об'єм елементарного блоку за висотою уступу в кожному вузлі сіті дорівнює $V_3 = H_{уст} t^2$.

Рис. 6. Побудова оптимального контуру

Накопичення об'єму і ваг металів при перспективному плануванні здійснюється за смугами (рядами) інтерполяційної сіті до заданих величин, тобто паралельно базовій лінії переміщується її протилежна керована сторона доки в оптимальному контурі не будуть накопичені задані значення об'єму і вмістів. Накопичення виконується тільки по "рудним" вузлам сіті. Для кожного параметра з урахуванням припустимого відхилення визначаються дві кінцеві смуги N_{\max} і N_{\min} , що відбивають набори мінімального і максимального значень. Щодо двох параметрів, оптимальний контур має місце, якщо $N_{1\max} > N_{2\min}$ і $N_{1\min} < N_{2\max}$. У цьому випадку номер смуги керованої сторони визначається співвідношенням

$$N = (\max(N_{1\min}, N_{2\min}) + \min(N_{1\max}, N_{2\max})) / 2 \quad (18)$$

та знаходиться від базової смуги на відстані $H = Nt$, де t – ширина смуги, що дорівнює кроку регулярної сіті.

Таким чином формуються координати оптимального контуру, у якому об'єми і вміст визначені, як

$$(19)$$

де K_i – число "рудних" вузлів у i -й смугі, C_{ij} – інтерпольоване значення вмісту в j -му "рудному" вузлі i -ої смуги.

При оперативному плануванні гірничих робіт, крім підрахунку запасів, використовується побудова індикатрис для оцінки мінливості основного якісного показника у видобувному забої. Зменшення коливань вмісту в рудопотоці досягається шляхом вибору напрямку відпрацювання забоїв уздовж найбільшої діагоналі індикатриси. Тобто пропонується напрямок відпрацювання за найменшою мінливістю вмісту.

У найбільш складному модулі "Підрахунок об'ємів вийнятої гірської маси" за звітний період оцінюється геометрія вийнятих блоків різних конфігурацій, у яких визначаються об'єми гірської маси, розкриву і руди, а також вміст в руді і її сортах.

Робота з модулем виконується в 2 етапи: підготовка даних і підрахунок об'ємів та якісних показників. Наприкінці кожного місяця маркшейдери виконують зйомку положення фронту гірничих робіт на окремих ділянках, у яких протягом місяця проводився видобуток. Результати зйомки кожної ділянки записуються у БД, що містить для кожної точки зйомки номер горизонту, номер ділянки, координати X , Y , Z і ознаку точки ("В" – верхня брівка, "Н" – нижня брівка, "Х" – характерна точка зйомки). Формування координат верхньої і нижньої брівок вийнятих блоків виконується користувачем у такій послідовності. На екран дисплея виводяться точки чергової

ділянки. По горизонту розглянутої ділянки виконується звернення до ЦМК і вивід поліліній (відрізків ламаної) верхньої і нижньої брівок уступів, як це показано на рис. 7. У нагорній частині кар'єру на екран виводяться додатково полілінії горизонталей. Крім номерів точок ділянки та ЦМК, можна вивести на екран їхні відмітки з можливістю корегування. У межах малюнка можна вивести результати випробування вибухових свердловин (на рис. 7 показані вмісти міді у сотих частках відсотка). За допомогою маніпулятора "миша" користувач обходить за годинниковою стрілкою контури по верхній і нижній брівках уступу. Точки, що знімаються, є реальними координатами точок ділянки та ЦМК.

Координати контурів кожної ділянки із заданим коефіцієнтом розрихлення (має місце при визначенні об'ємів у розрихленому стані) записуються у проміжну БД. Аналогічно формується БД для визначення вийнятих об'ємів за різні періоди часу відпрацювання родовища, кратні місяцю. При цьому на екран дисплея виводяться брівки уступів двох ЦМК різних дат, обраних користувачем. Після підготовчих операцій підключається розрахунковий модуль. Вихідна інформація містить об'ємні і якісні показники руди, об'єм розкриву і гірської маси кожної ділянки, горизонту і кар'єру в цілому.

Маркшейдерський облік видобутку проводиться досить оперативно в останній день звітного періоду. Не потрібна висока оперативність при підготовці ЦМК на наступний місяць. У графічному середовищі "AutoCAD" виводяться полілінії ЦМК на початок місяця, а також маркшейдерські точки зйомки брівок уступів на кінець місяця на ділянках, де проводився видобуток. Деталізуючи рисунок в області окремих ділянок, користувач за допомогою маніпулятора "миша" оновлює положення фронту гірничих робіт. Як показано на рис. 7, між точками 1 і 9 видаляються відрізки полілінії ЦМК по верхній брівці та вставляються відрізки, що проходять через нові точки зйомки на кінець місяця. Таке ж корегування виконується по нижній брівці і відповідно на всіх ділянках кар'єрного поля. На рис. 8 показано зміни положення брівок уступів на 5 ділянках двох горизонтів кар'єру ГЗК "Ерденет" за січень місяць 2000 р.

За допомогою спеціальної програми обробляються полілінії оновленого рисунку і формується нова ЦМК, що відбиває положення фронту гірничих робіт на початок наступного місяця. Надається можливість виводу ЦМК будь-якої дати на графобудівник, тобто одержання плану кар'єру, як це показано на рис. 9.

Одноточасний вивід двох ЦМК дозволяє одержати картину зміни фронту гірничих робіт за звітний період, кратний місяцю.

Рис. 8. Корегування ЦМК на відпрацьованих ділянках

У модулях "Математичне забезпечення" і "Формування графічної документації" виконується побудова індикатрис, автокореляційних та структурних функцій, ізоліній, результатів

випробування свердловин, контурів рудних тіл по горизонтах кар'єру.

У шостому розділі наводяться результати впровадження автоматизованого МЗ на Михайлівському ГЗК та ГЗК "Ерденет", а також результати його адаптації для умов родовища "Скелеватське–Магнетитове" Південного гірничо-збагачувального комбінату (м. Кривий Ріг).

Розроблене МЗ може функціонувати автономно або як підсистема в єдиній інформаційній системі управління кар'єром. Протягом робочого дня тривалість експлуатації МЗ на ГЗК "Ерденет" складає близько 5 годин. При цьому економічний ефект від впровадження виконаної роботи досягається за рахунок підвищення точності й оперативності при маркшейдерському обліку видобутку руди і підрахунку запасів, розрахунках для маркшейдерських і геологічних служб підприємства, маркшейдерському забезпеченні задач планування гірничих робіт у кар'єрі.

Рис. 9. План кар'єру ГЗК "Ерденет" на 01.01.2000 р.

Методологія побудови автоматизованої системи МЗ апробована багаторічною експлуатацією і може бути типовою для рудних кар'єрів України.

Виконана оцінка можливості адаптації розробленого МЗ для умов родовища ПівдГЗК. Результати досліджень показали, що потрібно не більше 20% змін програмного забезпечення. Зміни обумовлені відсутністю випробування вибухових свердловин, хоча в роботі доведена доцільність такого випробування. При наявності даних вибухових свердловин можливе прогнозування вмістів за глибиною покладу в межах стратиграфічних горизонтів.

ВИСНОВКИ

У результаті виконаних досліджень здійснено теоретичне узагальнення та вирішена науково-практична проблема, що полягає у розробці методологічних основ маркшейдерського забезпечення планування та обліку видобутку руд в інформаційній системі управління кар'єром на основі цифрового моделювання родовища і кар'єра, оцінки просторової мінливості якісних показників та точності випробування, розроблених методів оперативного підрахунку запасів, маркшейдерського обліку видобутку, оконтурювання рудних тіл по горизонтах кар'єру, побудови оптимальних контурів за результатами вирішення задач планування розвитку гірничих робіт. Вирішення цієї проблеми дозволяє підвищити ефективність планування гірничих робіт в кар'єрі, використання матеріальних, трудових і сировинних ресурсів та має важливе значення для розвитку вітчизняних комп'ютерних технологій у гірничодобувній промисловості.

Основні наукові і практичні результати полягають у наступному:

1. Розроблені методологічні основи автоматизованої системи МЗ планування та обліку видобутку в рудному кар'єрі, що дозволяє при мінімальних витратах праці підвищити точність маркшейдерських розрахунків і ефективність планування гірничих робіт на рудних кар'єрах.

Модулі системи вирішують такі основні задачі: створення та ведення інформаційної геолого-маркшейдерської бази, автоматизацію маркшейдерських розрахунків, маркшейдерське забезпечення задач-користувачів у інформаційній системі управління кар'єром.

2. Розроблена цифрова модель кар'єру (ЦМК), що містить просторове положення брівок уступів і горизонталей денної поверхні кар'єру у вигляді координат поліліній. Це дозволяє представляти полілінії у відомих графічних середовищах у вигляді примітивів, що забезпечує перетворення цифрових даних ЦМК у графічні об'єкти і навпаки. Відновлення графічних об'єктів виконується тільки на тих ділянках, де протягом місяця проводився видобуток. Перетворення оновлених графічних об'єктів у цифрове представлення формує ЦМК на початок наступного місяця. Цифрову модель родовища (ЦМР) доцільно представляти у вигляді первинних даних вибухових і розвідницьких свердловин, а також координат рудних тіл по горизонтах кар'єру.

3. Розроблений модуль “Підрахунок запасів” дозволяє в заданих контурах визначати об'ємні і якісні показники порід та руд з поділом їх на сорти і типи. Універсальність модуля досягається: використанням різних методів підрахунку запасів і способів підготовки координат заданих контурів; автоматизованим вибором методів підрахунку запасів шляхом співставлення результатів підрахунку за даними випробування розвідницьких і вибухових свердловин у контурах різних конфігурацій; одночасним використанням даних випробування вибухових і розвідницьких свердловин з можливістю прогнозування якісних показників за даними вибухових свердловин вищележачого горизонту. Ефективність використання даних випробування вибухових свердловин вищележачого горизонту визначається лінійним трендом зміни вмістів із глибиною покладу, співвідношенням сітки розвідницьких і вибухових свердловин, площею заданого контуру, способом випробування, висотою уступу, значеннями випадкової і хвильової складових мінливості вмісту за площею і висотою уступу, а також початковою фазою хвилі за глибиною покладу на початку інтервалу прогнозу.

4. Уперше реалізовані методи багатокутників та сіток з урахуванням просторової мінливості показників, а також їхня комбінація з методом горизонтальних розрізів є найбільш ефективними при оперативному підрахунку запасів для рудних родовищ. Врахування анізотропії досягається в методі багатокутників шляхом оцінки їхньої геометрії щодо індикатриси, побудованої за радіусами кореляції автокореляційних функцій, а в методі зворотних відстаней – зважуванням показників у вузлах сіті за добутками зворотних відстаней і радіусів кореляції. Урахування просторової мінливості показників підвищує точність цих методів на 10–15%.

5. Формування контурів рудних тіл по горизонтах кар'єру на основі даних розвідницьких свердловин доцільно за ізолініями, побудованими у стандартних графічних пакетах “AutoCAD” і “Surfer”. Побудова ділянок сортів руд за даними вибухових свердловин доцільна за сторонами багатокутників, що співпадають і побудовані навколо свердловин, які пробурені у різних сортах.

Аналогічним чином визначається лінія контакту "руда-розкрит" для оцінки планових втрат і засмічення.

6. Уперше науково обґрунтовано автоматизоване визначення об'ємів вийнятої гірської маси з поділом на руду, розкрит і сорти руд за числовими відмітками верхніх та нижніх брівок уступів на основі інтерполяційних методів і, для окремих випадків, горизонтального зсуву контурів верхньої та нижньої брівок уступу відносно один одного. При цьому використання даних цифрових моделей родовища і кар'єру, результатів зйомки електронними теодолітами дозволяє з досить високою точністю визначати об'єм вийнятого блоку різної конфігурації як суму елементарних призм з визначенням об'ємів розкрити і руди, а також якісних показників у руді і її сортах.

7. Уперше встановлена доцільність "зворотного" підрахунку запасів для побудови контуру в межах заданої області за вхідними даними об'єму і вмістів шляхом набору елементарних об'ємів з кінцевим вибором положення сторони, що змінюється, у зоні припустимих значень. Це дозволило з похибкою до 5% побудову оптимальних контурів при плануванні гірничих робіт з використанням лінійного програмування.

8. У розробленій автоматизованій системі МЗ реалізовані модулі математичного забезпечення для оцінки точності випробування, побудови, автокореляційних і структурних функцій, індикатрис, виводу просторового розташування і результатів випробування свердловин, плану кар'єру, контурів рудних тіл по горизонтах кар'єру, а також ізоліній з використанням розробленої програми побудови поліному заданого ступеня. Передбачено розвиток зйомочного обґрунтування методами аналітичної полігонометрії, зворотної зарубки, комбінації прямої і бічної зарубок.

9. У результаті багаторічного досвіду експлуатації автоматизованої системи МЗ на ГЗК "Ерденет" встановлено:

- у контурах річного і квартального планування методи багатокутників і зворотних відстаней у порівнянні з методом середнього арифметичного дозволяють зменшити погрішність обчислення основних планових показників на 40–50%, а запропоновані їхні модифікації – на 50–60%;
- погрішність обчислення об'ємів і вмісту міді і молібдену за даними вибухових свердловин вищележачого горизонту у середньому у 2 рази менша, ніж при обчисленні цих показників за даними розвідницьких свердловин;
- формування ЦМР і ЦМК виконується при мінімальних витратах праці у процесі вирішення локальних маркшейдерських задач;
- ефективність планування гірничих робіт досягається за рахунок підвищення точності підрахунку запасів, автоматизованої побудови оптимальних контурів, а також рекомендацій напрямку відпрацювання забоїв, що забезпечують при оптимізації оперативного планування

зниження дисперсії міді у руді до 20%;

- погрішність підрахунку вийнятих об'ємів руди за запропонованою методикою зменшується у 2 рази в порівнянні з ручними розрахунками і складає в середньому 1.5%;
- економічний ефект від повного впровадження автоматизованого МЗ у інформаційній системі управління кар'єром склав 690764 ам. дол., дольова участь автора 552611 ам. дол. При локальному використанні автоматизованої системи МЗ (без інформаційного забезпечення задач планування) економічний ефект склав 273764 ам. дол., дольова участь автора 219011 ам. дол.;
- щоденний час експлуатації складає близько 5-ти годин.

Універсальність розробленого пакету підтверджується тим, що для його використання на залізорудному Південному ГЗК (м. Кривий Ріг) потрібно корегування не більше 20% програмного забезпечення. В основному ці зміни обумовлені відсутністю випробування вибухових свердловин. При цьому доведена доцільність такого випробування.

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ І РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ ОПУБЛІКОВАНІ В НАСТУПНИХ РОБОТАХ

1. Компьютеры и системы управления в горном деле за рубежом /Астафьев Ю.П., Зеленский А.С., Горлов Н.И., Глушков А. Н., Коробко В. Н., Астафьев А. Ю. – М.: Недра, 1989. – 264с.
2. Давидкович А.С., Зеленский А.С. Автоматизация геолого-маркшейдерского обеспечения //Моделирование и управление горнорудными предприятиями. М.: Недра, 1989. – С. 155 – 190.
3. Климов Э.Н., Бондаренко А.В., Зеленский А.С. О расширении функций автоматизированной системы рентгеноспектрального аналитического контроля на горно-обогатительных предприятиях //Обогащение руд. – Л.: "Механообр." – 1987. – №1. – С. 45 – 47.
4. Коробко В.Н., Чернов А.П., Зеленский А.С. Автоматизированный архив геологических данных по скважинам детальной и эксплуатационной разведок для САПР и АСУП карьеров //Разработка рудных месторождений. – Київ: Техніка. – 1987. – Вып. 43. – С. 11 – 15.
5. Горлов Н.И., Коробко В.Н., Зеленский А.С., Андрусенко Ю.А. Способы повышения эффективности усреднения руд на карьерах //Разработка рудных месторождений. – Київ: Техніка. – 1988. – Вып. 45. – С. 65 – 69.
- 6.Куксов М.Д., Зеленский А.С., Щербак А.Ф., Бугаева Е.Г. Автоматизация оперативного планирования добычных работ на ИНГОКе //Разработка рудных месторождений. – Кривой Рог: КТУ. – 1992. – Вып. 53. – С. 11 – 15.
7. Давидкович А.С., Отгонбилэг Ш., Зеленский А.С. Батхояг Н. Прогнозирование изменчивости качественных показателей руды в массиве для управления горными работами //Разработка рудных месторождений. – Кривой Рог: КТУ. – 1995. – Вып. 56. – С. 69 – 73.

8. Зеленский А.С., Чурин Н.А. Оценка пространственной изменчивости показателей на ГОКе "Эрдэнэт" //Разработка рудных месторождений. – Кривой Рог: КТУ. – 1996. – Вып. 57 – С. 88 – 92.

9. Зеленский А.С., Чурин Н.А. Подсчет объемов и определение качества добытой горной массы в АСУ карьером на ГОКе "Эрдэнэт" //Разработка рудных месторождений. – Кривой Рог: КТУ. – 1997. – Вып. 60. – С. 74 – 80.

10. Зеленский А.С. Методологические основы автоматизированного геолого-маркшейдерского обеспечения в карьере //Разработка рудных месторождений.– Кривой Рог: КТУ. – 1997. – Вып. 61. – С. 100 – 104.

11. Зеленский А.С. Автоматизация маркшейдерского учета добычи на карьерах //Разработка рудных месторождений. – Кривой Рог: КТУ. – 1997. – Вып. 61. – С. 104 – 110.

12. Давидкович А.С., Зеленский А.С., Чурин Н.А., Бямбадорж Н. Геолого-маркшейдерское обеспечение в АСУ карьером //Горный журнал. – 1998. – №2 – С. 72 – 74.

13. Зеленский А.С., Чурин Н.А. Автоматизированные системы для геолого-маркшейдерского обеспечения горных работ //Горный журнал. – 1998. – №3. – С. 25 – 31.

14. Зеленский А.С. Реализация метода ближайших районов при оперативном подсчете запасов //Разработка рудных месторождений. – Кривой Рог: КТУ.– 1998. – Вып. 63. – С. 56 – 62.

15. Зеленский А.С. Организация геолого-маркшейдерского обеспечения при автоматизированном планировании горных работ в карьере //Разработка рудных месторождений. – Кривой Рог: КТУ. – 1998. – Вып. 66. – С. 62 – 68.

16. Зеленский А.С. Исследование методов оперативного подсчета запасов на рудных карьерах //Разработка рудных месторождений. – Кривой Рог: КТУ. – 2000 – Вып. 70. – С. 71 – 77.

17. Зеленский А.С. Автоматизированное оконтуривание сортов руд по данным опробования взрывных скважин //Разработка рудных месторождений. – Кривой Рог: КТУ. – 2000. – Вып. 72 – С. 79 – 84.

18. Зеленский А.С. Учет пространственной изменчивости показателей при оперативном подсчете запасов методом многоугольников //Разработка рудных месторождений. – Кривой Рог: КТУ. – 2000. – Вып. 73. – С. 89 – 95.

19. Зеленский А.С. Автоматизированное оконтуривание рудных тел по горизонтам карьера //Науковий вісник НГА України.– Днепропетровск: НГА Украины. – 2000. – Вып. 5. – С. 70 – 73.

20. Зеленский А.С. Прогнозирование качественных показателей при оперативном подсчете запасов на рудных карьерах //Проблемы научного обоснования горнопромышленного комплекса Украины на пороге XXI века: Сб. науч. трудов ГНИГРИ. – Кривой Рог: ГНИГРИ. – 2001. – С. 120 – 126.

21. Зеленский А.С. Опыт автоматизации съемочного обоснования в информационной

системе управления карьером //Разработка рудных месторождений. – Кривой Рог: КТУ.– 2001. – Вып. 75. – С. 64 – 68.

22. Федоренко П.И., Зеленский А.С. Информационное обеспечение автоматизированного подсчета запасов при планировании горных работ в карьере //Разработка рудных месторождений – Кривой Рог: КТУ. – 2001. – Вып. 76.– С. 46 – 51.

23. Федоренко П.И., Зеленский А.С. Опыт разработки базы данных при автоматизированном планировании и учёте добычи на рудных карьерах //Разработка рудных месторожд. – Кривой Рог: КТУ.–2002. – Вып. 78. – С. 100–105.

24. Зеленский А.С. Использование автокорреляционных и структурных функций при разработке автоматизированного маркшейдерского обеспечения горных работ в карьере //Науковий вісник НГА України.– Днепропетровск: НГА Украины. – 2002. – №1.– С. 70 – 73.

25. Зеленский А.С. Оценка эффективности оперативного подсчета запасов по данным опробования взрывных скважин вышележащего горизонта на рудных карьерах //Науковий вісник НГА України.– Днепропетровск: НГА Украины. – 2002. – №. 3.– С. 25 – 27.

26. Зеленский А.С. Автоматизированная оценка достоверности результатов шламowego опробования при шарошечном бурении взрывных скважин на рудных карьерах //Разработка рудных месторождений – Кривой Рог: КТУ. – 2002. – Вып. 79. – С. 81 – 86.

27. Зеленский А.С. Разработка маркшейдерского обеспечения планирования горных работ и учета добычи в информационной системе управления рудным карьером //Достижения и перспективы научно-технического прогресса в горнодобывающей промышленности: Сб. науч. трудов ГНИГРИ. – Кривой Рог: ГНИГРИ. – 2002. – С. 34 – 40.

28. Зеленский А.С. О целесообразности опробования взрывных скважин при создании автоматизированной системы маркшейдерского обеспечения карьера ОАО "ЮГОК" //Качество минерального сырья. Сб. науч. трудов. – Кривой Рог. – 2002.– С. 23 – 28.

29. Зеленский А.С., Чурин Н.А. Автоматизированный подсчет объемов и определение качества добытой горной массы за отчетный период в карьере // Материалы I Междунар. симп. “Оперативный контроль и управление качеством минерального сырья при добыче и переработке” – Кривой Рог: Минерал. – 1996. – С. 110 – 112.

30. Зеленский А.С. Разработка эффективных методов автоматизированного оперативного подсчета запасов и учета добычи на рудных карьерах //Сб. науч. трудов II Междунар. симп. “Оперативный контроль и управление качеством минерального сырья при добыче и переработке” – Ялта. – 1999. – С. 57 – 60.

31. Зеленский А.С. Опыт разработки информационного обеспечения оперативного подсчета запасов в карьере // Доклады III Междунар. конф. “Проблемы геоинформатики при комплексном освоении недр” – Днепропетровск: НГАУ. – 2001. – С. 17 – 24.

Особистий внесок автора в роботах, опублікованих у співавторстві: [1] – аналіз геостатистичних методів при оцінці мінливості параметрів покладу і підрахунку запасів; [2] – розробка структури геолого-маркшейдерського забезпечення та методів вирішення його основних задач на інформаційній основі цифрових моделей родовища і кар'єру; [3] – оцінка впливу сіті випробування на мінливість вмістів у рудопотоці; [4] – розробка БД за даними розвідницьких свердловин; [5] – оцінка якісних показників в контурах гірничих робіт для їх дослідження й аналізу у рудопотоці; [6] – запропоновані критерій оптимізації та маркшейдерське забезпечення при оперативному плануванні гірничих робіт; [7] – запропоновані ідея і методика використання автокореляційних функцій для вибору напрямку відпрацювання в забої; [8] – розробка алгоритму побудови поліному заданого ступеня; [9, 29] – розробка методики підрахунку об'ємів виїмки гірської маси з поділом її на руду і розкриття; [12] – приводиться досвід експлуатації маркшейдерського забезпечення в інформаційній системі управління кар'єром; [13] – розробка програм (60%), постановка та методи рішення комплексу задач маркшейдерського забезпечення планування та обліку видобутку; [22] – розробка програмного забезпечення підготовки вхідних даних для підрахунку запасів; [23] – розробка принципів формування БД при плануванні та обліку видобутку на рудних кар'єрах.

АНОТАЦІЯ

Зеленський О.С. Методологічні основи маркшейдерського забезпечення планування та обліку видобутку в інформаційній системі управління рудним кар'єром. Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за фахом 05.15.01 – “Маркшейдерія”. – Національний гірничий університет, Дніпропетровськ, 2002.

Дисертація присвячена розробці автоматизованої системи маркшейдерського забезпечення планування та обліку видобутку на рудних кар'єрах. На інформаційній базі цифрових моделей родовища і кар'єра розроблені такі основні задачі: підрахунок запасів з одночасним використанням даних всіх проведених свердловин; підрахунок об'ємів виїмки гірської маси, руди і розкриття з використанням інтерполяційних методів і електронних теодолітів; оконтурювання рудних тіл з використанням графічних пакетів; побудова оптимальних контурів за результатами вирішення задач планування. У ряді задач використані вперше розроблені методи. Результати роботи дозволяють підвищити ефективність планування та обліку видобутку руд та впроваджені на кар'єрах чорної і кольорової металургії.

Ключові слова: цифрова модель родовища, цифрова модель кар'єру, облік видобутку, підрахунок запасів, гірська маса, вміст руди.

АННОТАЦИЯ

Зеленский А.С. Методологические основы маркшейдерского обеспечения планирования и учета добычи в информационной системе управления рудным карьером. Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.15.01 – “Маркшейдерия”. – Национальный горный университет, Днепропетровск, 2002.

Диссертация посвящена вопросам разработки автоматизированной системы маркшейдерского обеспечения планирования и учета добычи на рудных карьерах, позволяющей при минимальных трудозатратах повысить эффективность планирования горных работ, маркшейдерского учета добычи, а также решения геолого-маркшейдерских задач для служб предприятия. В качестве информационной основы обосновано использование цифровой модели месторождения (ЦММ), цифровой модели карьера (ЦМК) и координат пунктов съемочного обоснования. ЦММ содержит первичные данные опробования и маркшейдерской съемки разведочных и взрывных скважин. ЦМК содержит пространственное положение бровок уступов и горизонталей поверхности карьера в виде координат полилиний. Выбор такой структуры позволяет представлять ее в графических средах в виде примитивов, что обеспечивает преобразование цифровых данных в графические объекты и обратно. Обновление графических объектов выполняется только на участках, где в течение месяца велась добыча.

Впервые для планирования горных работ обеспечивается: оперативный подсчет запасов с возможностью одновременного использования данных опробования по всем проведенным скважинам, в том числе по взрывным скважинам вышележащего горизонта; построение оптимальных контуров по результатам решения задач планирования горных работ, использующих линейное программирование; построение автокорреляционных функций для определения направления отработки в забое. При оперативном подсчете запасов используются различные методы, в том числе впервые разработанные с учетом пространственной изменчивости показателей методы многоугольников и интерполяционные методы обратных расстояний, а также их сочетание с методами горизонтальных сечений. Доказана эффективность этих методов для сложноструктурных месторождений. Предложено построение контуров рудных тел по горизонтам карьера на основе данных разведочных скважин по изолиниям с использованием стандартных графических пакетах “AutoCAD” и “Surfer”. Оконтуривание участков сортов руд по данным взрывных скважин предложено по совпадающим сторонам многоугольников, которые построены вокруг скважин, пробуренных в различных сортах.

Впервые для автоматизированного маркшейдерского учета добычи разработан алгоритм оценки объема вынутаго блока по числовым отметкам верхних и нижних поверхностей, в основу которого положены интерполяционные методы и горизонтальное смещение контуров по нижней и верхней бровкам уступа относительно друг друга. При этом использование данных ЦММ и ЦМК,

результатов съемки электронными теодолитами позволяет с достаточно высокой точностью определять объем вынутого блока различной конфигурации как сумму элементарных призм с определением объемов вскрыши и руды, а также содержаний в руде и её сортах. Выполнена оценка точности подсчета выемки горной массы по предложенной методике, а также подсчета запасов по взрывным скважинам вышележащего горизонта на основе волновой теории пространственной изменчивости показателей.

В разработанном автоматизированном маркшейдерском обеспечении формируется необходимая геолого-маркшейдерская информация для решения задач-пользователей в информационной системе управления карьером, выполняется оценка систематической погрешности опробования скважин, построение индикатрис, автокорреляционных и структурных функций, графический вывод опробования скважин, плана карьера, контуров рудных тел по горизонтам карьера. Предусмотрено развитие съемочного обоснования различными методами. Основные результаты работы в виде программного обеспечения (пакета) внедрены на карьерах черной и цветной металлургии.

Ключевые слова: цифровая модель месторождения, цифровая модель карьера, учет добычи, подсчет запасов, горная масса, содержание руды.

THE SUMMARY

Zelensky A. S. Methodological bases of surveying support of planning and record-keeping of mining in information control system of an ore quarry. The manuscript.

The dissertation on reception of a scientific degree of doctor of engineering science on speciality 05.15.01–“Mining surveying”. – National Mining University, Dnipropetrovsk, 2002.

The dissertation is devoted to the development of the automated system of surveying support of planning and record-keeping of mining in ore opencasts. On the basis of the information base of digital models of the deposit and the opencast the following main tasks were developed: count of deposits with simultaneous using of the data of all the available holes; count of the volumes of mined rock extraction, ore and overburden with application of interpolation methods and using electronic theodolites; contouring of ore bodies with application of graphic packages; construction of optimal outlines by the results of solving the planning problems. In a number of the tasks the developed methods were used for the first time. The results of the research work allow to increase efficiency of planning and record-keeping of ore mining and they have been introduced at the opencasts of ferrous and non-ferrous metallurgy.

Key words: digital model of a deposit, digital model of an opencast, record-keeping of mining, count of deposits, mined rock, ore content.