

А.І. Купін, М.О. Іщенко, І.О. Музика

## **ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПІДТРИМКИ РІШЕНЬ ДЛЯ КЕРУВАННЯ БУРОВИБУХОВИМИ РОБОТАМИ**

*Анотація.* Розглянуто питання програмної реалізації системи комп'ютерної підтримки рішень для керування буровибуховими роботами в кар'єрі гірничо-збагачувального комбінату. Запропоновано підхід до інтеграції розробленої системи в інформаційну структуру підприємства.

*Ключові слова:* система комп'ютерної підтримки рішень, буровибухові роботи, база даних, паралельні обчислення, оптимізація параметрів.

### **Постановка проблеми**

Як відомо, технологічні процеси гірничого виробництва є досить енергоємними. Так, за даними ДП «Науково-дослідний гірничорудний інститут» енергетичні витрати за технологічними процесами розкриття, видобування та дроблення руди можуть досягати 1,4–3,9 тис. кВт·год/т залізної руди [1]. Зважаючи на обсяги річного видобування руди гірничо-збагачувальними комбінатами (ГЗК) до 35 млн. т, одними із пріоритетних напрямів зниження собівартості продукції та підвищення конкурентоспроможності підприємств є використання сучасного устаткування і впровадження спеціалізованих інформаційних технологій для автоматизації технологічних процесів виробництва.

Проведені дослідження [2] показують, що достатньо ефективно керувати підготовкою гірничої маси в кар'єрі ГЗК можна за допомогою системи комп'ютерної підтримки рішень (СКПР) шляхом визначення оптимального середнього шматка руди в залежності від фізико-механічних параметрів гірничого масиву. Розробка такої інформаційної системи є досить складним і актуальним науково-інженерним завданням, яке потребує застосування сучасних методів проектування програмного забезпечення, інтеграції до інформаційної структури підприємства та налагодження інформаційних потоків.

### **Аналіз публікацій за темою досліджень**

Питанням аналізу та побудови систем підтримки прийняття рішень присвячено багато робіт [3-5]. Значний внесок у розвиток теорії прийняття рішень та машинного навчання зробили вчені: Івахненко О.Г., Поспелов Д.О., Бодянський Є.В., Михальов О.І., Руденко О.Г., Ларичев О.І., Люгер Дж.Ф., Рассел С. та ін. Результати цих досліджень є потужною основою для побудови комп'ютерної інтелектуальної системи. Крім того, сьогодні на ринку інформаційних технологій для гірничо-видобувних підприємств є чимало геоінформаційних систем: Micromine, Mincom, Gemcom, Mineframe, Datamine, K-Mine. Однак дослідження функціональних можливостей даних СКПР підтвердили, що жодна з них поки не розв'язує задач оперативного автоматизованого керування буровибуховими роботами з урахуванням міцності, обводненості та тріщинуватості гірничого масиву.

### **Формулювання цілей статті**

У межах проектування СКПР для оптимізації середнього шматка руди в кар'єрі ГЗК було визначено основні завдання роботи. З метою прискорення процедури пошуку оптимальної рекомендації розробку програмного забезпечення СКПР потрібно проводити із застосуванням технології паралельних обчислень. З урахуванням існуючої інформаційної структури гірничого підприємства запропонувати підхід до інтеграції розробленої СКПР у виробничий процес.

### **Викладення матеріалу та результати**

Відповідно до міжнародного стандарту ISO/IEC 12207:2008 «Системна і програмна інженерія. Процеси життєвого циклу програмних засобів» під час проектування програмного забезпечення (ПЗ) в умовах його експлуатації та тестування на виробництві одним із найбільш важливих етапів розробки є визначення життєвого циклу ПЗ. Оскільки за своєю архітектурою інтелектуальна СКПР є клієнт-серверною інформаційною системою, тому передбачає вирішення таких задач проектування та розробки: клієнтської частини, яка оброблятиме данні, отримані із сервера, та виконуватиме їх аналіз; серверного налагодження бази даних (БД), створення відповідних таблиць, ключів, правил цілісності. У такому разі найбільш доцільною послідовністю етапів розробки СКПР є спіральна модель життєвого циклу. Спіральна модель на відміну від каскадної (водоспадної) має ту пере-

вагу, що ітераційний процес розробки модулів СКПР дозволяє істотно спростити внесення змін до програми за бажанням замовника.

З урахуванням переваг та недоліків існуючих методологій проектування ПЗ найбільш доцільною для розробки СКПР є швидка технологія Rapid Application Development (RAD). Дана методологія найкраще узгоджується зі спіральною моделлю життєвого циклу проекту.

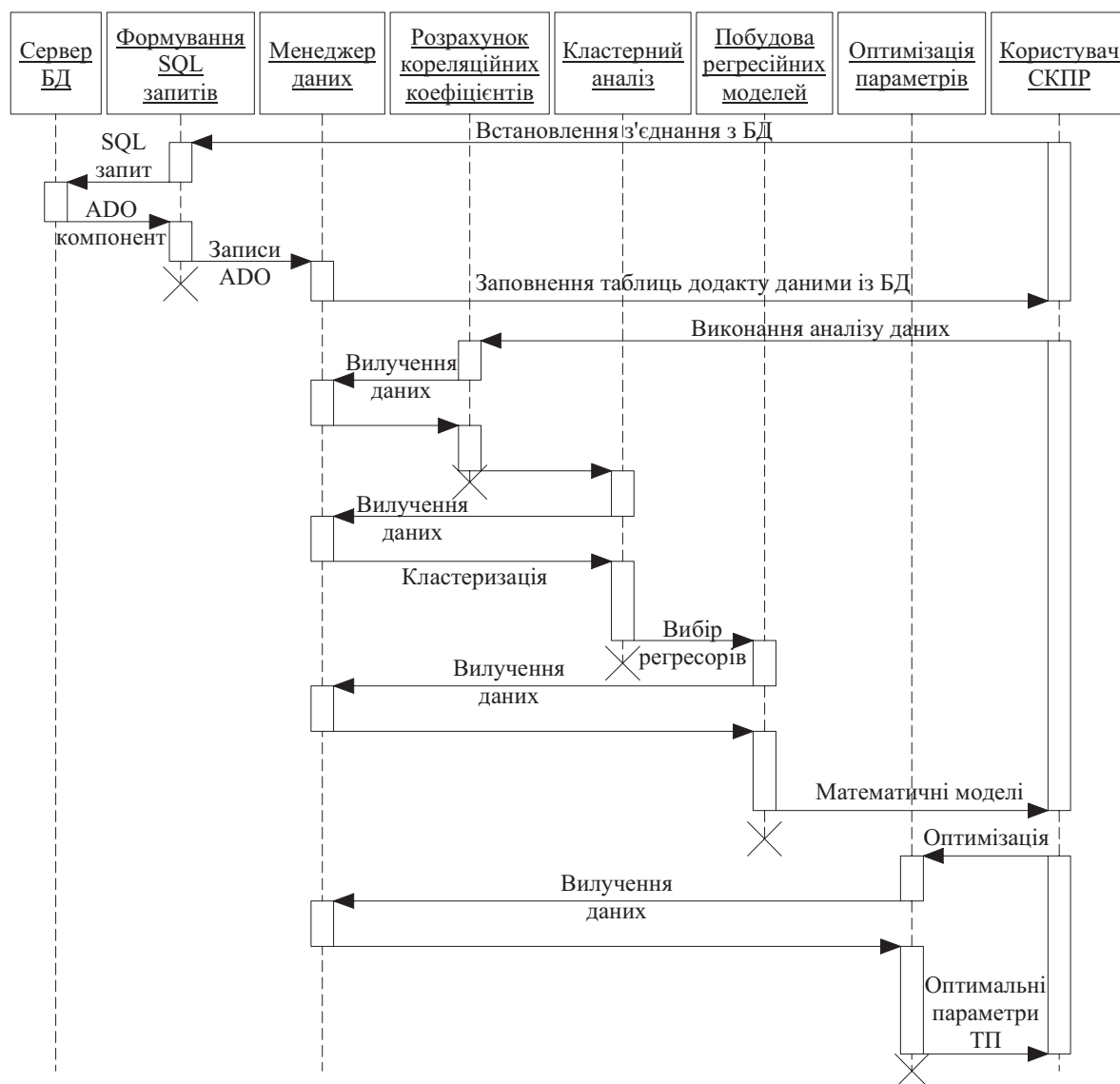


Рисунок 1 - Діаграма послідовностей UML основних класів та методів СКПР

На рис. 1 подано діаграму послідовностей за допомогою уніфікованої мови моделювання Unified Modeling Language (UML). Схема відображає внутрішню архітектуру СКПР та циркуляцію інформаційних потоків. Для зображення дій користування введено абстрактний об'єкт «користувач СКПР». На його лінії життя представлено

три фокуси керування, які відповідають за підключення та завантаження БД, виконання аналізу отриманих даних та оптимізацію параметрів на основі побудованих математичних моделей.

Детальний аналіз вищенаведеної схеми показав, що однією з найбільш ресурсоемних з точки зору обчислень є процедура багатофакторної стохастичної оптимізації, яка проводиться для пошуку найменшого значення критерію функціонування СКПР. Оптимізація математичної моделі з урахуванням 15–20 факторів зумовлює тривалість пошуку рішення понад 10 хв. Тому велика кількість обчислень вимагає удосконалення швидкісних показників алгоритмів за рахунок паралельних обчислень. Аналіз основних функціональних можливостей технологій паралельних обчислень дозволяє стверджувати, що в умовах роботи інтелектуальної СКПР на одному багатоядерному комп'ютері найбільш ефективним буде застосування вільної (freeware) бібліотеки OpenMP.

Узагальнена блок-схема алгоритму стохастичного пошуку оптимуму представлена на рис. 2. Вхідними параметрами алгоритму є:  $\varepsilon$  – необхідна точність локалізації екстремуму, %;  $m$  – кількість змінних, за якими проводиться оптимізація;  $V$  – максимальний обсяг оперативної пам'яті, який може використати СКПР для розрахунків, байт. З метою гарантування якості рівномірного розподілу генерованих випадкових векторів та зважаючи на апаратні обмеження комп'ютерів за обсягом оперативної пам'яті, пропонується процедуру пошуку оптимуму проводити  $k$  разів. Визначення кількості векторів  $n$  проводиться із розрахунку 8 байт типу *double* на одну предикторну змінну (блок 5). Для кожного із  $p$  ядер ініціюється окремий потік (блок 10). При цьому загальна кількість тестових точок  $Q$  розбивається рівномірно між ітераціями пошуку та відповідними потоками (блок 9). Спочатку шукається мінімум критерію за результатами роботи всіх потоків (блок 12), а потім – за результатами всіх ітерацій (блок 13).

Точність локалізації екстремуму (табл. 1) оцінювалася з допомогою відносної середньоквадратичної похибки

$$\varepsilon_{СК} = 100 \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left( \frac{x_i^{pr} - x_i^{opt}}{x_i^{\max} - x_i^{\min}} \right)^2}, \quad (1)$$

де  $x_i^{pr}$  – знайдене програмою оптимальне значення  $i$ -го параметра;  
 $x_i^{opt}$  – дійсне оптимальне значення, знайдене аналітично.

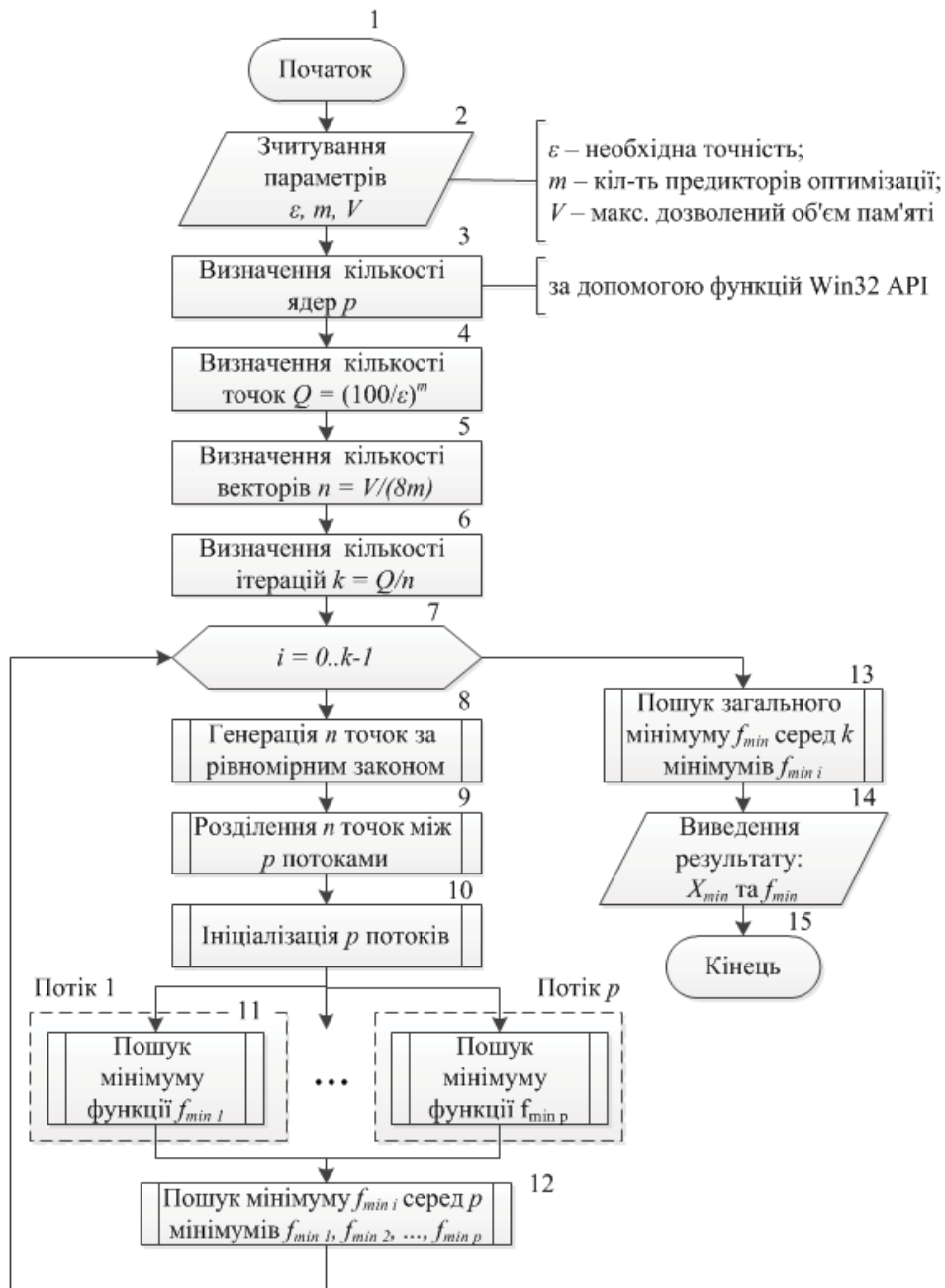


Рисунок 2 - Блок-схема паралельного алгоритму пошуку мінімуму

Таблиця 1

Результати моделювання оптимізаційного алгоритму Монте-Карло

№ з/п	Кількість точок $Q$	Час виконання $t$ , с		Похибка $\varepsilon_{СК}$ , %
		$p = 1$	$p = 2$	
1.	$10^6$	0,25	0,12	7,78
2.	$10^7$	2,48	1,6	6,49
3.	$10^8$	24,9	17,8	4,15
4.	$10^9$	249,3	160,0	2,55

Підвищення продуктивності обчислювальних алгоритмів, яке досягається за допомогою паралельної обробки інформації, дозволить ефективно інтегрувати інтелектуальну СКПР в інформаційну структуру ГЗК (рис. 3). Порівняльний аналіз переваг та недоліків сучасних систем управління базами даних (СУБД) показує, що в умовах гірничого виробництва найбільш доцільним буде застосування MS SQL Server, яка при меншій вартості, ніж Oracle та IBM DB2, забезпечує високий рівень захисту інформації, повну реалізацію можливостей мови запитів SQL та якісну сервісну підтримку з боку компанії Microsoft. Адекватність прийнятого рішення підтверджується багаторічним досвідом експлуатації СУБД MS SQL Server 2008 на ВАТ «Південний ГЗК». Система ефективно працює на 2-процесорному сервері з об'ємом оперативної пам'яті 6 ГБ, кожен з процесорів має по 4 ядра. БД складається зі 100-120 таблиць, основними полями яких є дійсні числа розміром 8 байт. MS SQL Server за 1 хвилину опрацьовує понад 10000 складних запитів до різних таблиць даних, а пікове навантаження на серверну станцію при цьому не перевищує 70%. Середнє робоче навантаження на процесори складає близько 15-20%. Деякі показники ТП знімаються з датчиків систем керування з частотою в 1 секунду, що генерує досить потужний інформаційний потік. Така дискретність призводить до зростання об'єму БД зі швидкістю 6 ГБ/рік.

#### Висновки

Отже, застосування технології паралельних обчислень при розробці інтелектуальної СКПР для автоматизації керування буровибухових робіт дає змогу прискорити процедуру пошуку рішення на 2-ядерних обчислювальних машинах не менше ніж в 1,5 рази. Модель інтеграції СКПР у інформаційну структуру гірничого підприємства дозволила визначити доцільність запропонованої інформаційної системи. Розрахунок економічної ефективності впровадження СКПР на ГЗК з річним обсягом видобування руди 35 млн. т при зменшенні сумарних питомих витрат на 0,5%, капітальних витратах 68 тис. грн. показує, що загальний очікуваний річний економічний ефект складає до 3 млн. грн.

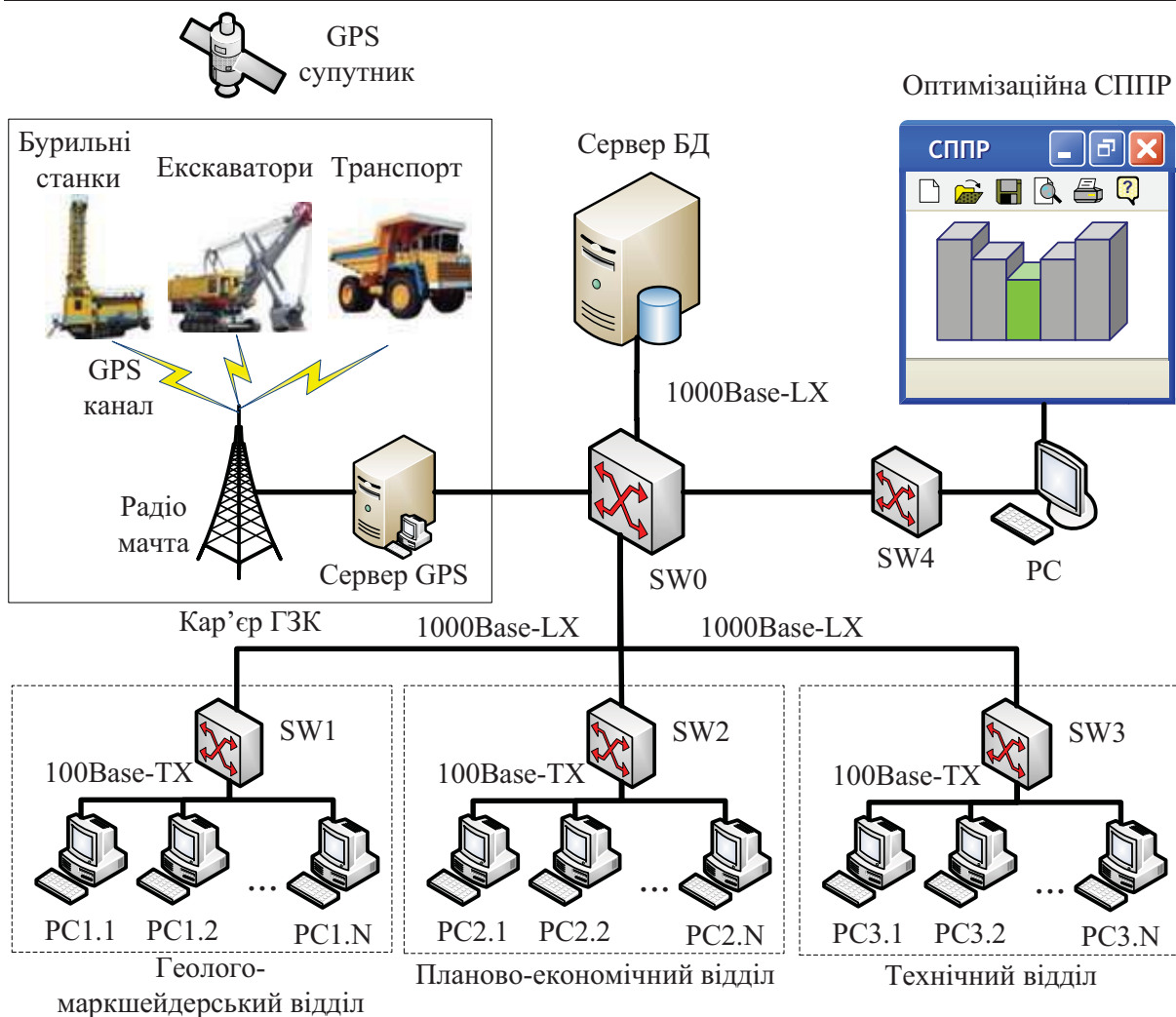


Рисунок 3 - Інтеграція СКПР у типову інформаційну структуру ГЗК

## ЛІТЕРАТУРА

1. Технично-економическі показателі горнодобываючих підприємств України в 2004–2005 гг. / [Близнюков В.Г., Салганик В.А., Штанько Л.А., Русаненко П.А.]. – Кривий Ріг: ГП «НИГРИ», 2006. – 122 с.
2. Кононов И.П. Методика расчета параметров буровзрывных работ при массовых взрывах в карьерах / И.П. Кононов. – Кривий Ріг, 1985. – 18 с.
3. Лысенко В.С. Обзор и анализ современных СППР на предприятиях открытой добычи руд / В.С. Лысенко // Зб. наук. праць: Економіка: проблеми теорії та практики. – Дніпропетровськ: ДНУ, 2005. – Вип. 208. – Т. 4. – С. 1091–1098.
4. Силаенков А.Н. Компьютерные системы поддержки принятия решений / А.Н. Силаенков. – Омск: ОмГТУ, 2007. – 80 с.
5. Капутин Ю.Е. Горные компьютерные технологии и геостатистика / Ю.Е. Капутин. – СПб.: Недра, 2002. – 424 с.