

УДК 004.272.43(045)

ББК 3 97.3.0233-018.2

І.А. Жуков, д-р техн. наук, проф.,

О.В. Іванкевич, асп.

## АПАРАТНЕ І ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НЕОДНОРІДНИХ БАГАТОПРОЦЕСОРНИХ СИСТЕМ ВЕЛИКИХ БАЗ ДАНИХ

*Розглянуто основні принципи побудови апаратного і програмного забезпечення неоднорідних високопродуктивних багатопроцесорних систем баз даних. Запропоновано та досліджено структури на рівні пристроїв та основні комплекси програмних засобів систем баз даних.*

Сучасні тенденції розвитку технології засобів обробки даних впливають на індустрію баз даних (БД), висуваючи нові вимоги до архітектури систем БД (СБД) та їх програмного забезпечення [1–3]. Ці вимоги пов'язані, зокрема, з реалізацією розпаралелення операцій над даними, інтерфейсів із центральним процесором і модулями запам'ятовуючого пристрою (ЗП), що зберігає дані. Одним із шляхів підвищення ефективності нечислової обробки даних в СБД є створення спеціалізованих багатопроцесорних систем і асоціативних середовищ.

При створенні СБД за основу прийнято принципи побудови системи інтеграції неоднорідних БД [4; 5]. У такій системі інформація про предметну область організується у вигляді БД і бази процедур, кожна з яких може містити по декілька розділів і бути розподіленою. Розділу БД відповідає мультитаза, що реалізовується централізовано на СБД або розподілена між ЕОМ, які входять до складу неоднорідної інформаційно-обчислювальної системи. Те ж саме стосується і до розділів бази процедур.

Взаємодія прикладних програм з СБД здійснюється у формі сесій, включаючи етапи ідентифікації користувача і виконання послідовності транзакцій. У процесі виконання транзакції в СБД може виникнути необхідність розподіленого виконання запиту, якщо останній включає оператори, що відносяться до різних баз інтегрованої системи. У цьому випадку транзакція включає серію підлеглих транзакцій, що виконуються в СБД і/або в локальних базах на ЕОМ неоднорідної системи.

Логічна структура СБД включає в себе шість функціональних комплексів:

- комплекс засобів створення метабази даних і процедур;
- комплекс компіляції прикладних програм в абонентських ЕОМ;
- комплекс динамічної компіляції мови маніпулювання даними і діалогу;
- інтерпретуючий комплекс;
- комплекс засобів програмування СБД;
- комплекс утиліт СБД.

Вибір такого уявлення зумовлений зручністю структуризації з точки зору програмування, можливістю досить повно ідентифікувати компоненти програмного забезпечення, їх функції і інтерфейси. При фізичній реалізації найбільш важливим у структурі виявляється інтерпретуючий комплекс, основними компонентами якого є:

- блок сполучення, що забезпечує інтерфейс взаємодії з абонентськими ЕОМ;
- система керування транзакціями;
- процесор даних;
- система зберігання даних;
- система керування буферною пам'яттю;
- система реалізації абстрактних типів даних;
- перетворювачі моделей даних;
- база даних і процедури.

Складові, що відносяться до трансформаційного рівня в логічній структурі – перетворювачі моделей даних і система реалізації абстрактних типів даних – є компонентами, які підтримують розподілену систему локальних баз, розміщених в абонентських ЕОМ.



Ядром комплексу є набір засобів, які забезпечують виконання транзакцій над даними, що зберігаються в СБД. Ці засоби зумовлюють вимоги до архітектури власне СБД, структури її програмних і апаратних засобів.

У високопродуктивних СБД використовуються два основних типи архітектури:

- багатопроцесорні неоднорідні;
- мережеві.

Перший тип характеризується наявністю декількох рівнів обробки даних, розвинутою системою буферною пам'яттю, функціональним паралелізмом, що підтримується апаратними засобами.

Мережева архітектура реалізує принципи однорідності структури, сегментації даних і розподілу процесорів обробки по пристроях масової пам'яті. Поява цієї архітектури з'явилася безпосереднім наслідком розвитку локальних комп'ютерних мереж і спроб з їх допомогою нарощувати потужність системи через збільшення числа взаємодіючих однотипних ЕОМ.

При створенні СБД доцільно прийняти компромісний варіант, що поєднує основні риси неоднорідної і мережевої архітектури. Зовнішній інтерфейс і організація виконання транзакцій відповідають архітектурі неоднорідних систем з функціональною спеціалізацією процесорів на виконання послідовних фаз обробки потоку транзакцій. На рівнях виконання транзакцій і у структурі масової пам'яті використовується топологія, близька до мережевої.

Організація виконання транзакцій здійснюється за методом динамічного розподілу ресурсів, тоді як операції в масовій пам'яті спираються на статичне розпаралелення обробки і класифікацію даних у середовищі зберігання. При цьому використовується хеширування відносин по первинних ключах, а зумовлена цим методом нерівномірність завантаження пристроїв масової пам'яті компенсується статистично за рахунок паралельного асинхронного виконання потоку транзакцій.

У СБД використовуються, в основному, серійні мікропроцесори, функціональна спеціалізація яких забезпечується програмними засобами. Виключення складають комутаційні процесори і апаратура каналів міжпроцесорного зв'язку (адаптери), побудовані на основі напівзамовних надвеликих інтегральних схем (НВІС). У СБД можуть бути використані три типи оброблювальних процесорів:

- інтерфейсні;
- процесори даних;
- процесори пам'яті.

Інтерфейсні процесори являють собою потужні персональні ЕОМ, склад апаратури яких забезпечує виконання різних функцій інтерфейсу СБД: зв'язок з віддаленими абонентами СБД, трансляцію запитів абонентів у внутрішні уявлення, організацію і керування виконанням потоку транзакцій, адміністрування БД, контроль стану і керування апаратними засобами СБД.

Процесори даних являють собою потужні мікропроцесори з досить великим оперативним ЗП (ОЗП), що виконує функції секціонованої буферної пам'яті СБД. На них покладаються функції процесорів реляційної алгебри.

Процесори пам'яті відповідають процесорним елементам при мережевій топології: потужним мікропроцесорам, що включають буферний ОЗП, контролер зовнішнього ЗП (ЗЗП) і ЗЗП на жорстких дисках, призначених для зберігання секцій відносин БД.

Зв'язок СБД із зовнішніми абонентами може здійснюватися через структурні мережі ЕОМ і додаткові канали комутаційної мережі. До складу абонентів мережі можуть належати робочі станції, на яких виконуються процеси-ініціатори запитів на транзакції, а також віддалені локальні БД, що входять у систему інтеграції на основі СБД. Звернення до останніх може ініціюватися як з боку процесів-абонентів при посередництві СБД, так і самої СБД, при звертанні абонентів до інтегрованої БД. В останньому випадку запит на зовнішню транзакцію генерується при трансляції запиту абонента. Запити абонентів, підключених на системному рівні, обробляються аналогічно, але при реалізації сесій абонент отримує можливість безпосередньо підключатися до виділеного процесора – виконавця транзакцій.



У фізичній структурі СБД виділяють три рівні (рис. 1):

- рівень зовнішнього інтерфейсу, якому відповідає декілька інтерфейсних процесорів;
- рівень маніпулювання даними, якому відповідають процесори даних і пов'язана з ними сторінково-організована секціонувана буферна пам'ять;
- рівень збереження і фільтрації даних, фізично реалізований на декількох процесорах пам'яті.

Рівень зовнішнього інтерфейсу включає віртуальні процесори, за якими залежно від навантаження й інтенсивності графіка зовнішніх запитів може закріплюватися різна кількість фізичних інтерфейсних процесорів.

Інтерфейсний процесор забезпечує функції зв'язку із зовнішніми абонентами, включаючи введення-виведення даних із мережі ЕОМ.

Процесор динамічної компіляції є апаратною базою програмного комплексу динамічної компіляції мови маніпулювання даними.

Процесор керування транзакціями реалізує відповідну функцію логічної структури СБД.

Процесор керування призначений для підтримки функцій адміністраторів інтегрованої БД, створення і ведення метабази даних і процедур, підтримки системи програмування та ін.

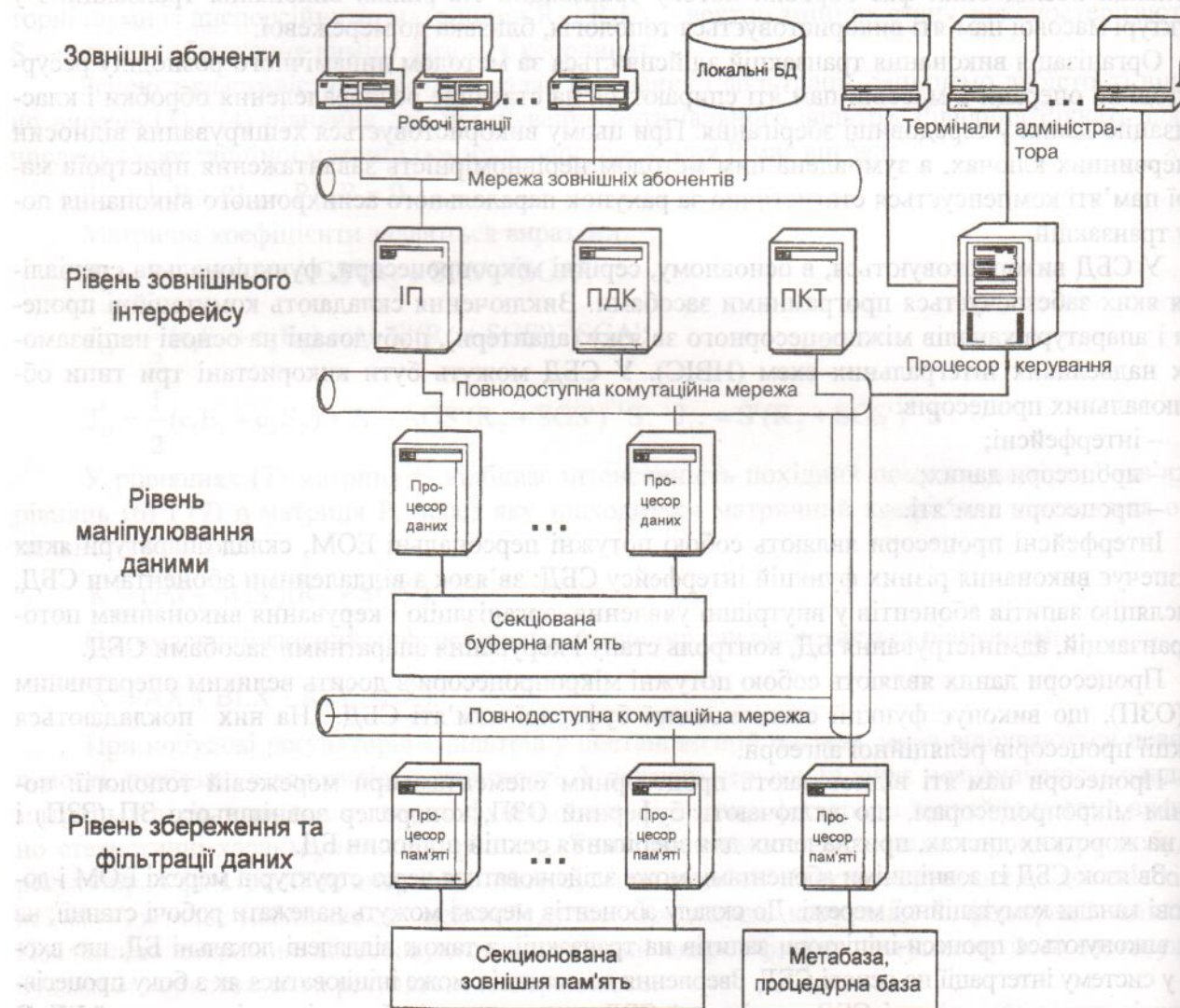


Рис. 1. Фізична структура СБД:

ІП – інтерфейсний процесор; ПДК – процесор динамічної компіляції;  
ПКТ – процесор керування транзакціями



Серед керуючих процесорів особливе місце займає процесор, що виконує функції системного монітора і реалізує набір програмних засобів керування апаратною СБД. Процесор здійснює оперативний контроль працездатності і завантаження всіх пристроїв, підтримує системні таблиці стану ресурсів і забезпечує виділення апаратних ресурсів за запитами підсистеми керування транзакціями. Процесор динамічної компіляції є апаратною базою програмного комплексу динамічної компіляції мови маніпулювання даними.

Рівню маніпулювання даними відповідає декілька процесорів даних, ОЗП кожного з яких використовується як секція сторінково організованої буферної пам'яті СБД.

Основна задача процесорів даних – виконання операцій реляційної алгебри над даними, що поступають із процесорів пам'яті. На рівні маніпулювання даними використовується принцип розподілу апаратних ресурсів між транзакціями. За кожною транзакцією закріплюється один або декілька процесорів даних і пов'язані з ними секції системної буферної пам'яті. Буферна пам'ять має сторінкову організацію, і дані в неї потрапляють з процесорів пам'яті у відповідь на запит процесора даних. Запит на дані включає також модуль фільтра даних, який інтерпретується процесором пам'яті. При роботі з відносинами великого об'єму при транзакції запиту створюється група процесорів даних для паралельного виконання операцій реляційної алгебри.

Рівень зберігання і фільтрації даних охоплює декілька процесорів пам'яті і пов'язаним з ними накопичувачів на жорстких дисках. У функції цих процесорів входить пошук і фільтрація даних всередині сегментів відносин, що знаходиться в пам'яті кожного пристрою. Сегментація відносин здійснюється методом хеширування по первинних ключах. Розміщення даних і ведення метабази даних здійснює один з процесорів пам'яті, що виділяється для керування розподіленою базою.

Запити до процесорів пам'яті формуються процесорами даних, які направляють їх в керуючий процесор системи зберігання. У цьому процесорі обчислюються хеш-адреси і визначаються фізичні номери відповідних процесорів пам'яті. Запити на первинні дані виконуються асинхронно і паралельно в порядку їх надходження. Дані, що було відфільтровано, посторінково передаються з процесорів пам'яті безпосередньо в буферну пам'ять запитуючих процесорів даних. У процесорах пам'яті передбачаються засоби підтримки індексних структур при пошуку з багатьма атрибутами і сегментованому зберіганні даних.

Структурну схему апаратних засобів СБД наведено на рис. 2. До основних апаратних модулів СБД відносяться: інтерфейсні процесори, процесори даних, процесори пам'яті і комутаційні процесори.

У конструкції модулів використовуються, в основному, серійні компоненти. Виключення складають комутаційні процесори, побудовані на базі напівзамовних НВІС. До складу кожного модуля входить адаптер зв'язку (АЗ) для узгодження інтерфейсів внутрішньої шини модуля і входу комутаційної мережі (КМ). Адаптер зв'язку, як і комутаційний процесор, виконано на базі напівзамовних НВІС.

Інтерфейсні процесори забезпечують функції зв'язку СБД із зовнішніми абонентами, сервісні функції обслуговування потоку запитів (організацію потоку, компіляцію запитів), а також діалогові функції керування, спостереження і документування роботи системи. Основу інтерфейсного процесора складає могутня серійна ПЕОМ, доповнена АЗ із КМ, виконаними у вигляді плати розширення в конструктиві ПЕОМ (рис. 2). У залежності від функцій, що конкретно виконуються, апаратура ПЕОМ включає додаткові пристрої: АЗ зі службовим входом КМ для процесора, що використовується як системний монітор, або адаптер мережі ЕОМ для інтерфейсного процесора, що виконує функції зв'язку із зовнішніми абонентами. У моделях СБД високого рівня ПЕОМ інтерфейсного процесора адміністратора БД може мати додаткові пристрої для забезпечення робіт, пов'язаних з проектуванням схем БД, підтримки функцій трансформації неоднорідної БД тощо.



Системний монітор є специфічною компонентою розподілених багатопроцесорних обчислювальних систем і призначений для контролю стану та підтримки працездатності апаратних засобів. До функцій системного монітора входять:

- початкова організація і тестування апаратних засобів СБД;
- завантаження і запуск компонентів розподіленої операційної системи (ОС);
- оперативний контроль стану і працездатності компонентів апаратури і каналів зв'язку;
- виявлення відмов і динамічної реконфігурації апаратних засобів;
- підтримка системних таблиць стану ресурсів СБД;
- підготовка, документування і видача даних про стан і використання апаратних ресурсів СБД.

Для виконання специфічних функцій системний монітор містить АЗ зі службовим входом КМ, що забезпечує доступ до її внутрішніх регістрів. Через службовий вхід здійснюється контроль стану каналів зв'язку і реконфігурація засобів міжпроцесорної комутації.

Процесори даних і процесори пам'яті побудовані на базі універсального високопродуктивного мікропроцесора і відрізняються тим, що до складу процесора пам'яті належать контролер ЗЗП і ЗЗП на жорсткому диску. Обидва процесори містять АЗ з КМ. Оперативний запам'ятовуючий пристрій процесорів має досить великий об'єм і використовується як буферний для розміщення тимчасових відносин при виконанні операцій реляційної алгебри.

Комутаційна мережа модульної структури включає комутаційні процесори трьох типів: комутаційний процесор нижнього рівня КП1, комутаційний процесор верхнього рівня КП2 і службовий комутаційний процесор, що використовується для контролю і керування через службові канали КМ. Кожний процесор КП1 має входи для підключення абонентів КМ і зв'язок з іншими КП1 через КП2. Процесори КП2 призначено для комутації абонентів, що розміщуються на різних КП1. Обмін даними між абонентами здійснюється в півдуплексному режимі послідовним кодом.

Програмні засоби СБД (рис. 3) включають такі комплекси: розподілена ОС, інтерпретуючий комплекс, діалогово-компілюючий комплекс, комплекс керування метабазою і комплекс локальної СУБД.

Для процесорів, що мають власний пристрій пам'яті, керуюча програма завантажується з цього ж пристрою. Процесори, що не мають безпосереднього зв'язку із ЗЗП, переходять у режим очікування завантаження через канал КМ. Організація завантаження цих процесорів є функцією системного монітора.

Розподілена ОС СБД включає такі компоненти: ядро ОС, мережевий монітор, системний монітор і спеціалізовані оболонки.

Ядро ОС містить початковий завантажувач і модуль прийому, що реалізує нижній рівень протоколу міжпроцесорного обміну КМ. Ця частина ядра розміщується в постійних ЗП. Інші програми ядра ОС UNIX завантажуються в ОЗП при початковій організації.

Мережевий і системний монітори є компонентами ОС, що відображають специфіку багатопроцесорної архітектури СБД. Мережевий монітор регламентує взаємодію паралельних процесів у різних компонентах системи.

У функції системного монітора входить підтримка роботи всього комплексу апаратних засобів СБД. Системний монітор є комплексом програм, які завантажуються в один з інтерфейсних процесорів, що забезпечує виконання тестування, початкової організації системи і завантаження компонентів розподіленої ОС в інші процесори СБД. Системний монітор підтримує таблиці стану і завантаження апаратних ресурсів СБД.

Оболонка інтерфейсного процесора являє собою стандартну UNIX-оболонку, підтримуючу роботу ПЕОМ, що використовуються як інтерфейсні процесори.

Інтерпретуючий комплекс є основною виконавчою підсистемою при виконанні операцій над даними, до складу якого входять підсистема масової пам'яті, підсистема керування транзакціями і блок сполучення.

Підсистема масової пам'яті здійснює функції:

- організацію зберігання даних у процесорах пам'яті;



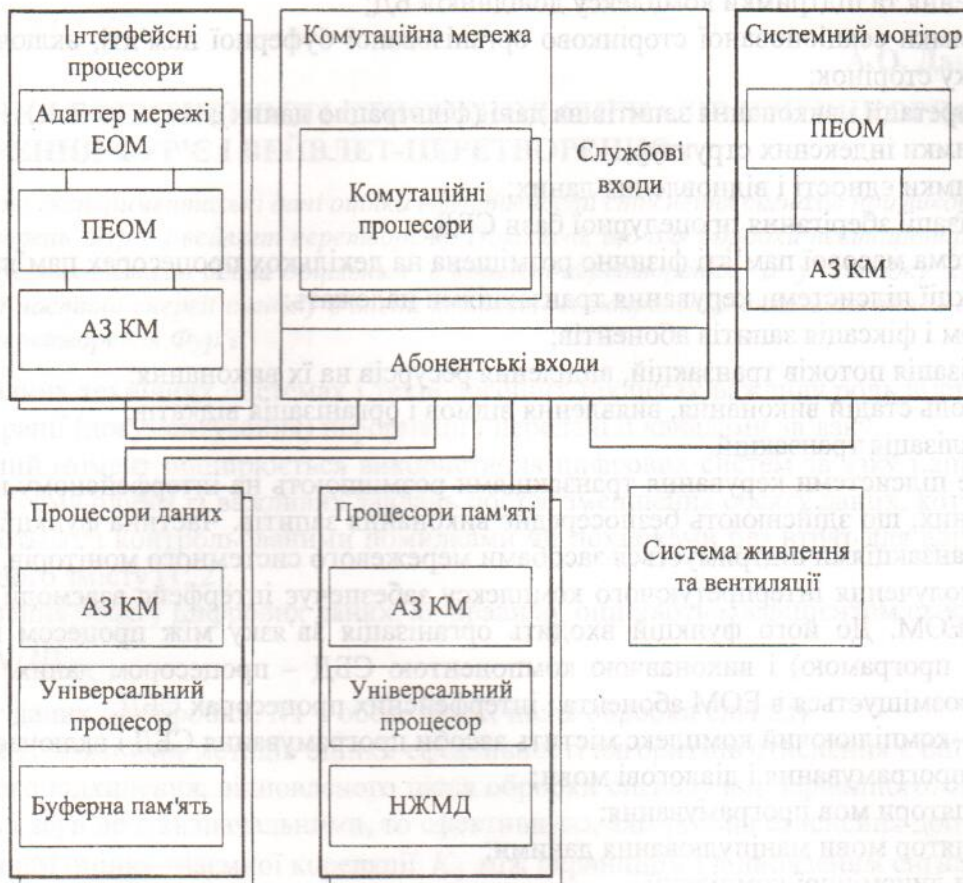


Рис. 2. Структурна схема СБД:  
НЖМД – накопичувач на жорстких магнітних дисках



Рис. 3. Структура програмних засобів СБД:  
МП – мова програмування; МОД – мова опису даних;  
ММД – мова маніпулювання даними



- створення та підтримки комплексу довідників БД;
- підтримки секціонованої сторінково організованої буферної пам'яті, включаючи динамічну підкачку сторінок;
- інтерпретації і виконання запитів на дані (фільтрацію даних);
- підтримки індексних структур;
- підтримки єдності і відновлення даних;
- організації зберігання процедурної бази СБД.

Підсистема масової пам'яті фізично розміщена на декількох процесорах пам'яті.

До функції підсистеми керування транзакціями належать:

- прийом і фіксація запитів абонентів;
- організація потоків транзакцій, виділення ресурсів на їх виконання;
- контроль стадій виконання, виявлення відмов і організація відкатів;
- журналізація транзакцій.

Фізичне підсистеми керування транзакціями розміщують на інтерфейсному процесорі та процесорі даних, що здійснюють безпосереднє виконання запитів. Частина функції підсистеми керування транзакціями підтримується засобами мережевого системного моніторів.

Блок сполучення інтерпретуючого комплексу забезпечує інтерфейс взаємодії СБД з абонентськими ЕОМ. До його функцій входить організація зв'язку між процесом користувача (прикладною програмою) і виконавчою компонентою СБД – процесором даних. Фізично ця компонента розміщується в ЕОМ абонента і інтерфейсних процесорах СБД.

Діалого-компілюючий комплекс містить засоби програмування СБД і включає:

- мови програмування і діалогові мови;
- транслятори мов програмування;
- транслятор мов маніпулювання даними;
- засоби динамічної компіляції.

Даний комплекс фізично розміщується на інтерфейсних процесорах і на робочих станціях абонентів СБД.

Комплекс керування метабазою даних і процедур є підсистемою, що забезпечує проектування, створення і реорганізацію інтегрованої БД. Комплекс включає інструментальні засоби адміністраторів БД, що містять:

- мови опису даних;
- транслятори мов опису даних;
- транслятори трансформаційних систем;
- довідники даних, процедур.

Комплекс фізично розміщується на інтерфейсному процесорі, що виконує функції робочої станції адміністратора інтегрованої БД.

До складу програмного забезпечення СБД належать також системи керування локальною БД. Фізично СУБД розміщується на робочих станціях абонентів. Взаємодія СУБД з БД центрального виконавчого рівня, розміщеної на СБД, здійснюється через блок сполучення, модуль якого завантажуються в процесори робочих станцій абонентів СБД.

#### Список літератури

1. Жуков И.А. Аппаратная реализация сопроцессора систем больших баз данных на транспьютерах // УСиМ. – 1997. – №1/3. – С. 100–108.
2. Жуков И.А., Иванкевич А.В., Кременецкий Г.Н. Методы организации параллельной обработки в системах больших баз данных // Проблемы информатизации та управління. – Вип. 5. – К.: НАУ, 2002. – С. 99–105.
3. Хансен Г., Хансен Д. Базы данных. Разработка и управление. – М.: БИНОМ, 1999. – 704 с.
4. Калинин Л.А., Рывкин В.М. Машины баз данных и знаний. – М.: Наука, 1990. – 294 с.
5. Озкарахан Э. Машины баз данных и управление базами данных. – М.: Мир, 1989. – 696 с.

Стаття надійшла до редакції 09.09.02.