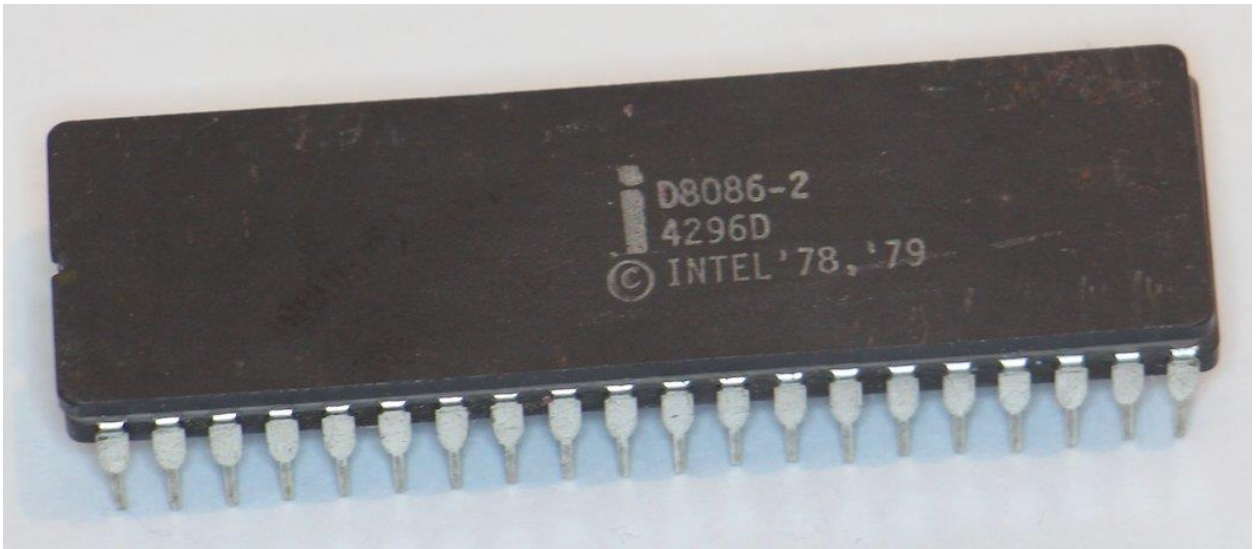


## ЕВОЛЮЦІЯ АРХІТЕКТУРИ ПРОЦЕСОРІВ INTEL X86

[http://all-ht.ru/inf/pc/proc\\_intel\\_hrono\\_d\\_1971-1979.html](http://all-ht.ru/inf/pc/proc_intel_hrono_d_1971-1979.html)

**Процесори 8086/8088.** Процесор i8086 має сумісну (мультиплексовану) 20-розрядну зовнішню шину адреси-даних. Дані передаються 16 розрядами, адреса - 20. Шина керування має 16 розрядів (зокрема, до неї входять строб адреси і строби обміну з пам'яттю й пристроями введення-виведення). Середній час виконання команди займає 12 тактів синхронізації, один цикл обміну через зовнішню шину вимагає 4 тактів (без урахування тактів очікування, що вводяться при асинхронному обміні). У процесора i8088 зовнішня шина даних 8-розрядна.



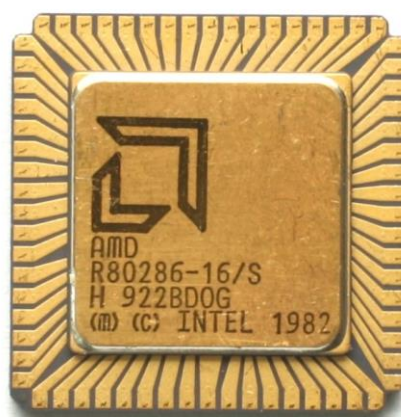
Процесори i8086/8088 мають сегментовану пам'ять. Тобто вся пам'ять представляється не у вигляді безперервного простору, а у вигляді кількох елементів — сегментів заданого розміру (по 64 Кбайти), положення яких в просторі пам'яті можна програмно змінювати. Процесор 8086/8088 має 14 реєстрів розрядністю по 16 біт. Для прискорення вибірки команд із пам'яті в процесорі 8086 передбачено внутрішній 6-байтний конвеєр (у процесорі 8088 — 4-байтний). Система команд процесора містить 133 команди, що підтримують 24 методи адресації операндів. Таке велике число команд може розглядатися як перевага (можна гнучко вибирати команду, яка оптимально підходить для кожного конкретного випадку), але

це помітно ускладнює структуру процесора. Кожна команда містить 1, 2 або 4 байти коду команди, за якими можуть слідувати 1, 2 або 4 байти операнда.

Процесор може обробляти 256 типів переривань: зовнішніх (апаратних), програмних і внутрішніх. Вектори переривань являють собою подвійне слово (два слова по 16 розрядів), що визначає сегмент і зсув початкової адреси програми обробки переривань. Внутрішні переривання здійснюються в особливих ситуаціях.

Важлива відмінна риса процесора — розділення операцій обміну з пристроями введення-виведення і з пам'яттю. Процесор працює від одного джерела живлення напругою +5 В і вимагає зовнішнього тактувального сигналу з частотою, яка визначається номером моделі (від 4,77 МГц до 10 МГц). Спеціальний керуючий сигнал MN/MX визначає мінімальний або максимальний режим роботи процесора.

**Процесори 80286.** Відмінність від процесора 8086/8088 — в механізмі керування адресацією пам'яті, який забезпечує чотирирівневу систему захисту і підтримку віртуальної пам'яті. (Віртуальна пам'ять — це зовнішня пам'ять великого обсягу, з якою процесор може взаємодіяти як зі своєю системною пам'яттю, але з деякими обмеженнями). Спеціальні засоби передбачено також для підтримання механізму перемикання завдань (Task switching). У процесорі 80286 також розширено систему команд за рахунок додавання команд керування захистом і декількох нових команд загального призначення.



Процесор 80286 може працювати у двох режимах:

- реальний режим (8086 Real Address Mode — режим реальної адресації) повністю сумісний з процесором 8086/8088. У цьому режимі можлива адресація лише в межах 1 Мбайта фізичної пам'яті. Він використовується для забезпечення програмної сумісності з процесором 8086/8088;
- захищений режим (Protected Virtual Address Mode — захищений режим віртуальної адресації). У цьому режимі можлива адресація в межах 16 Мбайт фізичної пам'яті.

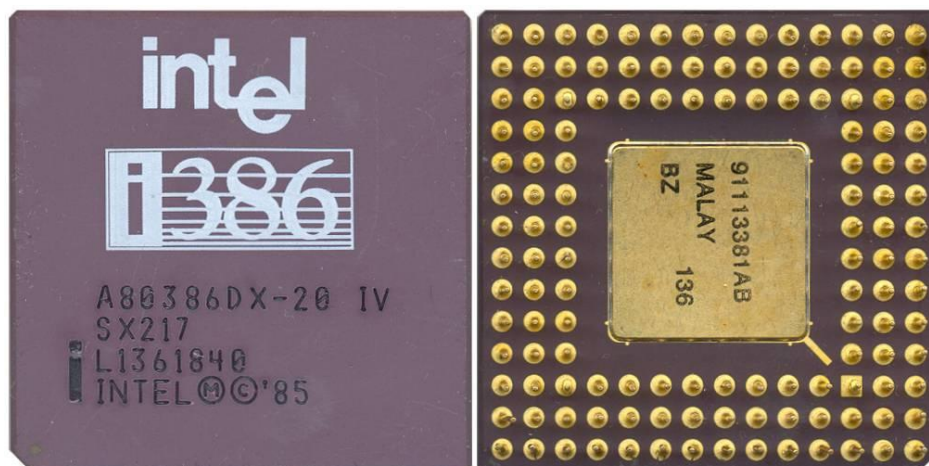
Процесор 80286 має 16-розрядну зовнішню шину даних і 6-байтний конвеєр команд. Для прискорення виконання математичних операцій передбачено підключення до процесора 80286 мікросхеми математичного співпроцесора 80287.

Так само, як і в 8086, застосовується сегментація пам'яті, але керування в реальному і захищеному режимах різне. Процесор 80286 може обробляти до 256 типів переривань. Переривання поділяються на апаратні (масковані або немасковані), що викликаються сигналами на входах процесора, програмні, викликані командою INT, і винятки інструкцій.

Система команд процесора 80286 включає, крім повного набору 8086, ряд додаткових команд: збереження константи в стеку, збереження в стеку й відновлення зі стека всіх регістрів однією командою; цілочисельне множення на константу; зсуви (включаючи циклічні) на задану в константі кількість кроків; входження і вихід з процедур; команди управління захистом.

**Процесори 80386.** У 32-розрядному процесорі i80386 немає обмеження на довжину безперервного сегмента пам'яті в 64 Кбайт. В захищеному режимі 80386 довжина сегмента може сягати 4 Гбайт, тобто всього обсягу фізично адресованої пам'яті. Таким чином, пам'ять фактично стала безперервною. Крім того, 80386 забезпечує підтримку віртуальної пам'яті обсягом до 64 Тбайт (1 Тбайт = 1024 Гбайт). Вбудований блок керування пам'яттю підтримує механізми сегментації і сторінкової трансляції адрес.

Забезпечується чотирирівнева система захисту пам'яті та вводу-виводу, а також перемикання завдань.



Процесор 80386, як i80286, може працювати в двох режимах: реальний, повністю сумісний з 8086, та захищений режим. У цьому режимі можлива адресація до 4 Гбайт фізичної пам'яті, через які за умови використання механізму сторінкової адресації може відображатися до 16 Тбайт віртуальної пам'яті кожного завдання. Процесор може оперувати з 8, 16, 32-бітними операндами, рядками байт, слів і подвійних слів, а також з бітами, бітовими полями і рядками біт. В архітектуру процесора введено засоби налагодження і тестування. Розрядність регістрів даних (AX, BX, CX, DX) і адрес (SI, DI, BP, SP) збільшено до 32. У їх позначенні з'явився префікс E (Extended — розширений), наприклад, EAX, ESI. Розширено до 32 розрядів регістр-показчик (лічильник) команд EIP. 32-розрядним став регістр прапорців EFLAGS. Такий само формат використовується і в процесорах 80486 і Pentium. Регістри сегментів процесора містять 16-бітові показчики (у реальному режимі) або селектори (у захищеному режимі) шести сегментів. З кожним із шести сегментних регістрів пов'язані програмно недоступні регістри дескрипторів, як і у випадку 80286. В захищеному режимі в регістри дескрипторів завантажується 32-бітна базова адреса сегмента, 32-бітний ліміт і атрибути сегментів.

Процесор дозволяє виділяти в пам'яті сегменти і сторінки. Сегменти в реальному режимі мають фіксований розмір, в захищеному — змінний.

Процесор 80386 обробляє всі види переривання: апаратні (масковані і немасковані) і програмні, які в даному випадку обробляються як різновид винятків. Винятки підрозділяються на відмови, пастки і аварійні завершення.

Кожному номеру переривання (0,...,255) або винятку відповідає елемент у таблиці дескрипторів переривань IDT (Interrupt Descriptor Table). В захищеному режимі IDT може мати розмір від 32 до 256 дескрипторів, кожен з яких складається з 8 байт.

Захищений режим запропоновано для забезпечення незалежності одночасного виконання кількох завдань (як системних, так і прикладних). Для цього передбачено захист ресурсів кожної задачі від дій інших завдань. Під ресурсами тут розуміється пам'ять з даними, програмами, системними таблицями, а також апаратура, що використовується завданням. Захист ґрунтується на сегментації пам'яті, причому, на відміну від реального режиму, завдання не може перевизначати положення своїх сегментів у пам'яті і використовує тільки сегменти, визначені для неї операційною системою. Сегмент визначається дескриптором сегмента, який задає положення сегмента в пам'яті, його розмір (або ліміт), призначення і характеристики захисту.

В захищеному режимі передбачається ієрархічна чотирирівнева (рівні 0, 1, 2, 3) система привілеїв, призначена для керування виконанням привілейованих команд і доступом до дескрипторів. Механізм віртуальної пам'яті, що використовується в захищеному режимі, дозволяє будь-якій задачі використовувати логічний простір розміром до 64 Тбайт (16К сегментів по 4 Гбайти).

Починаючи з процесора 80386, з'являються засоби обслуговування багатозадачного режиму. Процесор не може обробляти декілька завдань одночасно, виконуючи по кілька команд відразу. Він лише періодично перемикається між завданнями. Але з точки зору користувача виходить, що комп'ютер паралельно працює з кількома завданнями.



**Процесори 486.** Процесор 486 є представником другого покоління 32-розрядних процесорів. Він зберігає основні принципи архітектури процесора 80386, а також забезпечує повну сумісність зі своїми попередниками. В процесор введена внутрішня кеш-пам'ять 1-го рівня розміром 8 Кбайт і передбачено засоби для дворівневого кешування; введено математичний співпроцесор (у моделі процесора 486SX співпроцесор відсутній); підвищено продуктивність обміну через зовнішню шину — введені пакетні цикли, що передають одне слово за один такт шини; в архітектурі процесора застосовано швидкісне RISC-ядро, яке дозволяє команди, які найбільш часто зустрічаються, виконувати за один такт; до структури введено буфери відкладеного запису.



Кеш-пам'ять призначена для проміжного зберігання інформації з системної пам'яті з метою прискорення доступу до неї. Прискорення досягається за рахунок використання більш швидкої пам'яті і швидшого доступу до неї. При цьому в кеш-пам'яті зберігається постійно обновлювана копія деякої області основної пам'яті. Необхідність введення кеше пов'язана з тим, що системна пам'ять персонального комп'ютера виконується на мікросхемах динамічної пам'яті, яка характеризується меншою вартістю й більш низькою швидкодією, у порівнянні зі статичною пам'яттю.

Режим пакетної передачі, що вперше з'явився в процесорі 486, призначено для швидких операцій з рядками кешу. Пакетний цикл обміну відрізняється тим, що для пересилання всього пакету адреса через зовнішню

шину адреси передається тільки один раз — на початку пакета, а потім у кожному наступному такті передаються лише дані. Режим внутрішнього множення тактової частоти процесора підвищує швидкість процесора.

**Процесори Pentium.** Процесори Pentium належать до п'ятого покоління процесорів або до третього 32-розрядних процесорів нового покоління з істотними відмінностями:

1. Суперскалярна архітектура процесора, тобто процесор має два п'ятиступінчасті паралельні конвеєри обробки інформації, завдяки чому він здатний одночасно виконувати дві команди за один такт;

2. Зовнішня 64-розрядна шина даних для підвищення продуктивності, що потребує відповідної організації пам'яті. Через таку особливість процесор іноді неправильно називають 64-розрядним (хоча всередині він все-таки залишився 32-розрядним). Зовнішня шина адреси процесора — 32-розрядна;

3. Застосування технології динамічного передбачення розгалужень;

4. Роздільний кеш для команд і даних об'ємом 8 Кбайт кожен. Довжина рядка кешу — 32 байти. Обидва кеші працюють в режимі зворотного запису;

5. Підвищена в 2, ..., 10 разів у порівнянні з процесором 486 продуктивність вбудованого математичного співпроцесора. У ньому застосовано восьмиступінчасту конвеєризацію і спеціальні блоки додавання, множення і ділення, що дозволяє виконувати операції з плаваючою комою за один такт процесора;

6. Скорочено час (число тактів) виконання команд;

7. Передбачено можливість побудови двопроцесорних систем;

8. Введено засоби управління енергоспоживанням і тестування.

Засоби моніторингу продуктивності включають в себе таймер реального часу і лічильники подій. Таймер являє собою 64-розрядний лічильник, інкрементований з кожним тактом процесора. Два лічильники подій мають розрядність по 40 біт і програмуються на підрахунок подій

різних класів, пов'язаних з шинними операціями, виконанням команд, з роботою кеше, контролем точок зупинки тощо. Порівнюючи стани таймера й лічильників подій, можна зробити висновок щодо продуктивності процесора.



Засоби для побудови двопроцесорних систем дозволяють на одній локальній шині встановлювати два процесори з об'єднанням майже всіх однойменних виводів. Це дає можливість використовувати симетричну мультипроцесорну обробку (SMP — Symmetric Multi-Processing) або будувати функціонально надлишкові системи (FRC — Functional Redundancy Checking).

У конфігурації FRC два процесори виступають як один логічний процесор. Основний процесор працює в звичайному однопроцесорному режимі. Процесор перевірки виконує всі ті самі операції всередині себе, не керуючи зовнішньою шиною, і порівнює сигнали основного процесора з тими, які генерує сам. В разі неспівпадання формується сигнал помилки, що оброблюється як переривання.

Розвитком Pentium стало додавання технології MMX, розрахованої на мультимедійне, графічне і комунікаційне застосування. Основна ідея MMX полягає в одночасній обробці декількох елементів даних за одну команду (SIMD, Single Instruction — Mutiple Data). Команди MMX доступні з будь-якого режиму процесора. Крім того, в процесорах Pentium MMX збільшено обсяг кеша даних і програм (до 16 Кбайт кожен), збільшено число ступенів



конверсів і здійснено ще кілька удосконалень, що підвищують продуктивність звичайних (не мультимедійних) операцій.

**Процесори Pentium Pro.** Це шосте покоління процесорів, що має наступні удосконалень:

1. Динамічне виконання команд припускає, що команди, які не залежать від результатів попередніх операцій, можуть виконуватися в зміненому порядку (подальші раніше попередніх), проте послідовність обміну з зовнішніми пристроями (пам'яттю і пристроями введення-виведення) буде відповідати програмі. Тобто процесор сам вибирає зручний йому порядок виконання команд. Це дозволяє підвищити продуктивність процесора без збільшення тактової частоти;

2. Архітектура подвійної незалежної шини підвищує сумарну пропускну здатність. Одна шина (системна) служить для обміну з основною пам'яттю і пристроями введення-виведення, а інша (локальна) призначена лише для обміну з вторинним кешем;

3. В процесор введено кеш другого рівня обсягом 256,.., 512 Кбайт;

4. Можлива побудова багатопроцесорних систем (до чотирьох процесорів).

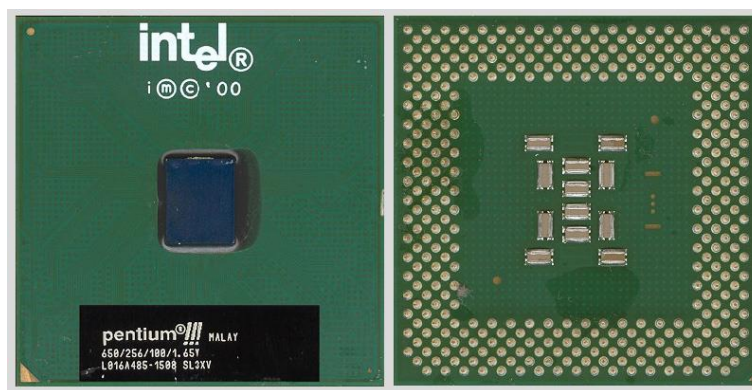


**Процесори Pentium II** поєднує в собі архітектуру Pentium Pro з технологією MMX. Розмір первинних кешів даних і команд складає 16 Кбайт, вторинного кеша — до 512 Кбайт. Кеш другого рівня трохи повільніший, ніж кеш першого рівня, зате він має більший обсяг. Така

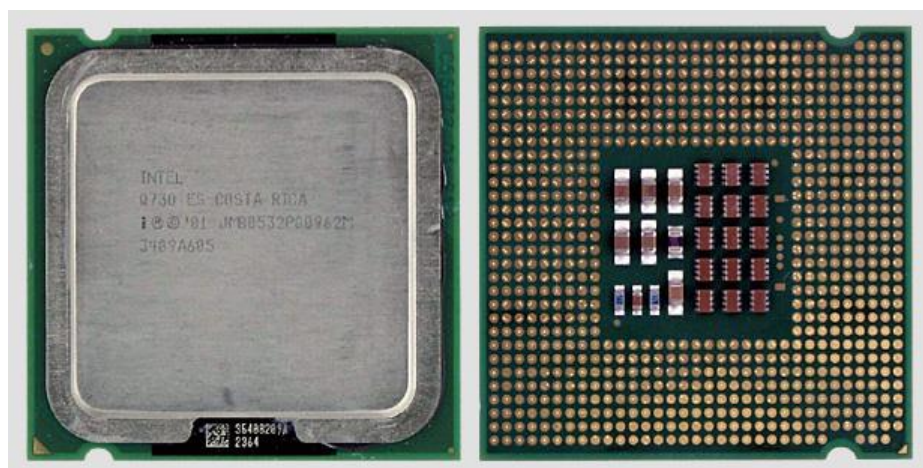
дворівнева організація дозволяє досягати компромісу між швидкістю кеш-пам'яті та її обсягом. Шина адреси має 36 розрядів (тобто максимально допустимий обсяг пам'яті — 64 Гбайти).



**Процесори Pentium 3 і Pentium 4** відрізняються значно підвищеною граничною тактовою частотою (до 3 ГГц у Pentium 4, а в перспективі — й до 5 ГГц), збільшеним обсягом кеша (від 512 Кбайт до декількох мегабайт) і подальшим вдосконаленням архітектури Pentium. Розмір внутрішнього конвеєра у Pentium 4 доведено до 20 ступенів.



З'явилися і повністю 64-розрядні процесори. Повне використання можливостей 64-розрядної архітектури потребує істотної зміни програмного забезпечення. Слід відмітити, що у складі персональних комп'ютерів практично ніколи не використовуються всі можливості процесорів сімейства Pentium.



Для портативних комп'ютерів було запропоновано спрощені версії процесорів Pentium 3 і Pentium 4, що продаються під маркою Celeron. Вони відрізняються зменшеною тактовою частотою і скороченим обсягом кеша другого рівня. Їх тактова частота зараз доходить до 2 ГГц. Треба враховувати, що потужність розсіювання процесора Celeron залишається практично такою само, як у процесорів Pentium 3 і Pentium 4.

## 2 Процесори Pentium і Celeron, Athlon і Duron

Процесор Celeron є урізаною версією відповідного (більш продуктивного, але і значно дорожчого) main-stream процесора, на основі ядра якого він був створений. У процесорів Celeron в два або в чотири рази менше кеш-пам'яті другого рівня. Так само у них в порівнянні з відповідними «родоначальниками» знижено частоту системної шини.

У процесорів Duron порівнянні з Athlon в 4 рази менше кеш-пам'яті і занижена системна шина 200 МГц (266 МГц для Applebred), хоча існують і «повноцінні» Athlon с FSB 200 МГц. Duron'и на ядрі Morgan вишли з продажу — їх виробництво вже досить давно згорнуто. Їх замінили Duron на ядрі Applebred, що являють собою не що інше, як урізані по кешу AthlonXP





Thoroughbred. Так само вже з'явилися урізані по кешу Barton'и, ядро яких носить назву Thorton.

Існують завдання, в яких між звичайними і урізаними процесорами майже немає різниці, а в деяких випадках відставання досить серйозне. В середньому ж, при порівнянні з «неурізаним» процесором тієї самої частоти, відставання це дорівнює 10, ..., 30%. Процесори Celeron працюють гірше в порівнянні з повноцінними P4 — відставання в деяких ситуаціях досягає 50%. Це не стосується процесорів Celeron D, в яких кеш другого рівня становить 256 Кбайт (128 Кбайт в звичайних Celeron) і відставання вже не таке відчутне. Зате урізані процесори мають тенденцію краще розганятися через менший обсяг кеш-пам'яті і коштують дешевше.

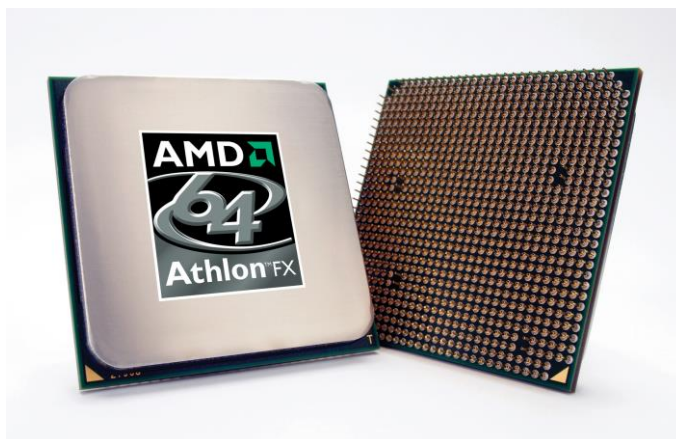
У АХР (і Athlon 64) замість частоти пишеться рейтинг, тобто наприклад 2000 процесор реально працює на частоті 1667 МГц, але за ефективністю роботи він відповідає Athlon (Thunderbird) 2000 МГц.

Основним недоліком Athlon вважалася температура. Але останні моделі (на ядрах Thoroughbred, Barton і т. ін.) за тепловиділенням відповідні Pentium 4, а останні моделі від Intel (P4 Extreme Edition) нагріваються іноді значно більше. За надійністю процесори тепер теж не сильно поступаються P4, вони хоч і не можуть пропускати такти (працювати «вхолосту») при перегріванні, але мають вбудований термодатчик (він хоч і з'явився ще в ядрі Palomino, але зовсім небагато сучасних материнських плат спроможні знімати показання з цього термодатчика).

Слід зауважити, що Athlon XP на ядрі Barton мають схожу функцію Bus Disconnect — вона «відключає» процесор від шини під час холостих тактів (простою), але вона фактично безсила при перегріванні від підвищеного навантаження — тут вся «відповідальність» перекладається на термоконтроль материнської плати. «Міцність» кристала (максимально допустимі межі температурної деформації) хоч і підвищилася, але через зменшену площу ядра фактично залишилася колишньою. Тому ймовірність згоряння (пошкодження) кристала хоч і стала меншою, але існує.

У Athlon 64 процесорний кристал захищено під теплорозсіювач, тому його пошкодити надзвичайно складно. Всі «глюки» приписувані AMD часто є наслідком невстановлених або неправильно встановлених універсальних драйверів для чіпсетів VIA (VIA 4 in 1 Service Pack) або драйверів чіпсетів інших виробників (AMD, SIS, ALi).

Працюють процесори Athlon XP і Pentium 4 в різних додатках по-різному. Наприклад, в складних математичних обчисленнях (3D моделювання, спеціалізовані математичні пакети), архівації, кодуванні в MPEG4, P4 часто «обіграє» AXP. Але є й ряд програм які краще працюють з AXP. В основному це — ігри. Для звичайного користувача варто орієнтуватися саме на них, оскільки перекодування в будь-якому випадку вимагає багато часу, а іграм, навпаки, необхідно провести всі обчислення як можна швидше.



У P4 дуже довгий конвеєр (тут мається на увазі так званий цілочисельний конвеєр) виконання інструкцій. Чим довший конвеєр, тим легше нарощувати тактову частоту, але тим менше продуктивності припадає на кожен отриманий мегагерц. І навпаки, чим на більшу кількість стадій розраховано конвеєр, тим менше роботи припадає на кожний окремий такт і тим швидше цей такт виконується.

Pentium 3 має конвеєр довжиною 12 стадій (можна так само сказати ступенів), Athlon (XP) — 10 стадій, Athlon 64 — 12. Pentium 4 поки є абсолютним чемпіоном за довжиною конвеєра (20 стадій), тобто має

найменший час виконання такту, що дозволяє досягти максимальної тактової частоти, а й найбільші затримки для зв'язаних одна з одною операцій.

Більш важливим стає передбачення того, виконання якої інструкції знадобиться, задовго до самого процесу її виконання. І, природно, помилка на цій стадії — вибір не тієї гілки, по якій піде процес виконання програми, буде дуже і дуже позначатися на продуктивності процесора. Конвеєр в разі помилки передбачення розгалуження «скидається в нуль» та виконання йде заново, тобто в ідеалі за кожної помилки передбачення «втрачається» до 20 дорогоцінних тактів. Нескладно підрахувати, чим це загрожує за середньої кількості помилок передбачення (5%) у випадку з 2 ГГц процесором.

В цілочисельних операціях P4 працює добре, а ось в операціях з плаваючою комою в нього ситуація гірша, там він значно програє AXP. Ще недавно мало додатків підтримували набір інструкцій SSE2, використаний в P4 і здатних значно збільшити швидкість його роботи (швидкість роботи FPU, хоча, умовно кажучи, SSE2 не допомагає FPU, а фактично його замінює).

В обробленні великих обсягів даних P4 лідирує, але в іграх почати наступні обчислення, як правило, не вдається, не закінчивши попередні (процесор частково простоює, поки попередня інструкція не вийде з конвеєра). І ось тут вступає в дію AXP. Справи ускладнюють різні набори інструкцій: 3DNow!, 3DNow! Professional, SSE, SSE2, де швидкість роботи залежить від того, під який процесор оптимізовано додаток. Перші моделі P4 на ядрі Willamete відчутно програвали навіть близьким за частотою моделям Pentium 3, не кажучи вже про Athlon. Але у Northwood'ів це відставання майже ніколи не виявляється.