

## 27. Математический сопроцессор. Типы данных.

В процессорах Intel все операции с плавающей запятой выполняет специальное устройство - **FPU(Floating Point Unit)** - с собственными регистрами и набором команд, поставившееся сначала в виде сопроцессора (8087, 80287, 80387, 80487), а начиная с 80486DX - встраивающееся в основной процессор. FPU полностью соответствует стандартам IEEE 754 и IEEE 854 (с 80486).

Числовой процессор может выполнять операции с над 7-ю типами данных:

Тип данных	Бит	Количество значащих цифр	Пределы
Целое слово	16	4	-32 768 ... 32 767
Короткое целое	32	9	$-2 \times 10^9 \dots 2 \times 10^9$
Длинное слово	64	18	$-9 \times 10^{18} \dots 9 \times 10^{18}$
Упакованное десятичное	80	18	-99.99 ... +99.99 (18 цифр)
Короткое вещественное	32	7	$1,18 \times 10^{-38} \dots 3,40 \times 10^{38}$
Длинное вещественное	64	15-16	$2,23 \times 10^{-308} \dots 1,79 \times 10^{308}$
Расширенное вещественное	80	19	$3,37 \times 10^{-4932} \dots 1,18 \times 10^{4932}$

### Представление вещественных чисел

- Нормализованная форма представления числа ( $1, \dots * 2^{\text{exp}}$ );
- Экспонента увеличена на константу для хранения в положительном виде;
- Пример представления 0,625 в коротком вещественном типе:
  - $1/2 + 1/8 = 0,101b$ ;
  - $1,01b * 2^{-1}$ ;
  - Бит 31 - знак мантиисы, 30-23 - экспонента, увеличенная на 127, 22-0 - мантииса без первой цифры;
  - 0 01111110 0100000000000000000000.
- Все вычисления FPU - в расширенном 80-битном формате.

### Форматы IEEE, применяемые в процессорах Intel

- *короткое вещественное*: бит 31 - знак мантиисы, биты 30-23 - 8-битная экспонента +127, биты 22-0 - 23-битная мантииса без первой цифры;
- *длинное вещественное*: бит 63 - знак мантиисы, биты 62-52 - 11-битная экспонента +1024, биты 51-0 - 52-битная мантииса без первой цифры;
- *расширенное вещественное*: бит 79 - знак мантиисы, биты 78-64 - 15-битная экспонента +16383, биты 63-0 - 64-битная мантииса с первой цифрой (то есть бит 63 равен 1).

FPU выполняет все вычисления в 80-битном расширенном формате, а 32- и 64-битные числа используются для обмена данными с основным процессором и памятью.

## Особые числа FPU

---

- Положительная бесконечность: знаковый - 0, мантисса - нули, экспонента - единицы;
- Отрицательная бесконечность: знаковый - 1, мантисса - нули, экспонента - единицы NaN
- (Not a Number):
  - qNaN (quiet) - при приведении типов/отдельных сравнениях
  - sNaN (signal) - переполнение в большую/меньшую сторону, прочие ошибочные ситуации
- Денормализованные числа (экспонента = 0): находятся ближе к нулю, чем наименьшее представимое нормальное число