

# Семинарское занятие №10

Воробьёв Сергей

Ноябрь 2019

## Дифференциал

Рассмотрим приращение функции  $y = f(x)$ :

$$\Delta y = f(x_0 + \Delta x) - f(x_0)$$

Если  $\Delta y$  в точке  $x_0$  представимо в виде:

$$\Delta y = A(x_0)\Delta x + \alpha(\Delta x)\Delta x$$

Причём  $A(x_0)$  не зависит от  $\Delta x$  и  $\alpha(\Delta x) \rightarrow 0$ , то функция  $y = f(x)$  называется дифференцируемой в точке  $x_0$ , а произведение  $A(x_0)\Delta x$  есть дифференциал функции  $y = f(x)$  в точке  $x_0$  и обозначается как  $df(x_0)$  или  $dy|_{x=x_0}$

Для существования дифференциала в точке  $x = x_0$  необходимо и достаточно, чтобы функция в этой точке имела конечную производную

Связь дифференциала и производной в точке  $x = x_0$

$$df(x_0) = f'(x_0)dx$$

Если функция дифференцируема при  $\forall x \in (a, b)$ , то:

$$df = f'(x)dx, \quad x \in (a, b)$$

## Приближенное вычисление с помощью дифференциала

Рассмотрим выражение:

$$y(x_0 + \Delta x) = y(x_0) + dy(x_0) + \alpha(\Delta x)\Delta x$$

Если  $dy(x_0) \neq 0$ , то для приближенного значения функции в точке  $x_0 + \Delta x$ , можно пользоваться формулой:

$$y(x_0 + \Delta x) \approx y(x_0) + dy(x_0)$$

### Свойства дифференциала

$$d(\alpha v + \beta u) = \alpha dv + \beta du$$

$$d(uv) = u dv + v du$$

$$d\left(\frac{u}{v}\right) = \frac{v du - u dv}{v^2}$$

$u, v$  - дифференцируемые функции,  $\alpha, \beta$ -константы

1. Найти значение определителя в точке  $t_0 = 0$ :

$$\det T = \begin{vmatrix} y'_x & x'_t \\ y''_{xx} & x''_{tt} \end{vmatrix}$$

$$x = \arctg(e^t), \quad y = \ln(1 + e^{2t})$$

### Решение

$$y'_x = \frac{y'_t}{x'_t} = \frac{\frac{2e^{2t}}{1+e^{2t}}}{\frac{e^t}{1+e^{2t}}} = 2e^t$$

$$y'_{xx} = \frac{(y'_x)'_t}{x'_t} = \frac{\frac{2e^t}{1+e^{2t}}}{\frac{e^t}{1+e^{2t}}} = 2(1 + e^{2t})$$

$$x'_t = \frac{e^t}{1 + e^{2t}}$$

$$x''_{tt} = \frac{e^t(1 + e^{2t}) - 2e^{3t}}{(1 + e^{2t})^2}$$

$$\det T = \begin{vmatrix} y'_x & x'_t \\ y''_{xx} & x''_{tt} \end{vmatrix}_{t_0=0} = 2 * 0 - \frac{1}{2} * 4 = -2$$

Ответ:  $-2$

2. Найти производную:

$$f(x) = x^{x^x} \quad f'(x) = ?$$

### Решение

Найдем сначала производную для  $\hat{f}(x) = x^x$

$$\hat{f}'(x) = (e^{x \ln x})' = e^{x \ln x} (\ln x + 1) = x^x (\ln x + 1)$$

Теперь найдем производную  $f(x)$

$$f'(x) = \left(x^{x^x}\right)' = \left(e^{x^x \ln x}\right)' = e^{x^x \ln x} \left(x^x (\ln x + 1) \ln x + x^x * \frac{1}{x}\right) = x^{x^x} (x^x (\ln x + 1) \ln x + x^x * \frac{1}{x})$$

**Ответ:**  $x^{x^x} (x^x (\ln x + 1) \ln x + x^x * \frac{1}{x})$

**Задание 3. Найти производную в точке  $x_0 = 2019$**

$$f(x) = x(x-1)(x-2)\dots(x-2019)$$

**Решение**

$$\begin{aligned} f'(x) &= \left(e^{\ln(x(x-1)(x-2)\dots(x-2019))}\right)' = \left(e^{\ln(x) + \ln(x-1) + \ln(x-2) + \dots + \ln(x-2019)}\right)' = \\ &= x(x-1)(x-2)\dots(x-2019) \left(\frac{1}{x} + \frac{1}{x-1} + \dots + \frac{1}{x-2019}\right) = \\ &= (x-1)(x-2)\dots(x-2019) + x(x-2)\dots(x-2019) + \dots + x(x-1)(x-2)\dots(x-2018) \end{aligned}$$

$$f'(2019) = 2019!$$

**Ответ:** 2019!

**Задание 4\***

Алиса выбирает точку  $(x, y)$  из единичного круга  $B = \{(x, y) | x^2 + y^2 \leq 1\}$  согласно равномерному распределению на  $B$ . Боб выбирает точку  $(x, y)$  следующим образом: он выбирает  $(\phi, r)$  из прямоугольника  $\Pi = [0, 2\pi) \times [0, 1]$  согласно равномерному распределению на  $\Pi$ , а затем полагает  $x = r \cos \phi$ ,  $y = r \sin \phi$ . Отличаются ли вероятностные меры у Алисы и Боба?

**Решение:**

Выберем из прямоугольника  $[0, 2\pi) \times [0, 1]$  радиус, равный  $r \in [0, 1]$ . Вероятность множества с данным радиусом в прямоугольнике равна  $\frac{2\pi r}{2\pi} = r$

Теперь перейдем к множеству  $x^2 + y^2 \leq 1$ . В данном случае, вероятность выбора множества с радиусом  $r$  равна  $r^2$ . Как видим, вероятностные меры не совпадают

**Ответ:** Да, отличаются

**Задание 5**

Найти дифференциал с помощью вычисления приращения и с помощью производной в точке  $x_0 = 2$ :

$$f(x) = x - 3x^2$$

**Решение:**

Первый способ:

$$\begin{aligned}f(x_0 + \Delta x) - f(x_0) &= (2 + \Delta x) - 3(2 + \Delta x)^2 - (2 - 12) = \\&= 2 + \Delta x - 3(4 + 4\Delta x + \Delta x^2) + 10 = -11\Delta x - 3\Delta x^2 \\df|_{x=2} &= -11dx\end{aligned}$$

Второй способ:

$$\begin{aligned}f'(x) &= 1 - 6x \\f'(2) &= -11 \\df|_{x=2} &= -11dx\end{aligned}$$

**Ответ:**  $-11dx$

### Задание 6

Найти дифференциал:

$$f(x) = x\sqrt{64 - x^2} + 64\arcsin\left(\frac{x}{8}\right), \quad |x| < 8$$

**Решение:**

$$\begin{aligned}d(x\sqrt{64 - x^2} + 64\arcsin\left(\frac{x}{8}\right)) &= xd(\sqrt{64 - x^2}) + \sqrt{64 - x^2}dx + 64 * \frac{d\left(\frac{x}{8}\right)}{\sqrt{1 - \left(\frac{x}{8}\right)^2}} = \\&= \frac{-x^2}{\sqrt{64 - x^2}}dx + \sqrt{64 - x^2}dx + \frac{64}{\sqrt{64 - x^2}}dx = \frac{128 - x^2}{\sqrt{64 - x^2}}dx\end{aligned}$$

**Ответ:**  $\frac{128 - x^2}{\sqrt{64 - x^2}}dx$

### Задание 7

Найти дифференциал  $df$ , если  $u, v$  дифференцируемые функции и  $du, dv$  известны:

$$f = \arctg\left(\frac{u}{v}\right) + \ln\sqrt{u^2 + v^2}, \quad u^2 + v^2 \neq 0$$

**Решение:**

$$df = \frac{d\left(\frac{u}{v}\right)}{1 + \left(\frac{u}{v}\right)^2} + \frac{d(\sqrt{u^2 + v^2})}{\sqrt{u^2 + v^2}} = \frac{\frac{vdu - u dv}{v^2}}{\frac{v^2 + u^2}{v^2}} + \frac{\frac{d(u^2 + v^2)}{2\sqrt{u^2 + v^2}}}{\sqrt{u^2 + v^2}} =$$

$$= \frac{vdu + udu - udv + vdv}{v^2 + u^2}$$

**Ответ:**  $\frac{vdu+udu-udv+vdv}{v^2+u^2}$

### Задание 8

Найти приближенное значение функции в точке  $x = 3.98$ :

$$f(x) = \sqrt{x}$$

**Решение:**

Положим  $\Delta x = -0.02$ ,  $x_0 = 4$

$$\sqrt{4 - 0.02} \approx \sqrt{4} + \frac{1}{2\sqrt{x}} dx|_{x=4} = 2 - \frac{1}{4} * 0.02 = 2 - 0.005 = 1.995$$

**Ответ:** 1.995