

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
образования

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Факультет систем управления и робототехники

# Типовой расчет и лабораторная работа № 1 "Функции нескольких переменных "

по дисциплине Математический анализ

Выполнила: студентка гр. **R3238**

**Нечаева А. А.**

Преподаватель: *Бойцев Антон Александрович*

Санкт-Петербург, 2023-2024

## 1 задание.

Найти частные производные данной функции  $f(x, y)$  в точке  $(0, 0)$ . Выяснить, является ли функция дифференцируемой в точке  $(0, 0)$ . Найти её дифференциал. Пункт 2.

$$f(x, y) = y + \cos \sqrt[3]{x^2 + y^2} \quad (1)$$

### 1.1 Частные производные

$$\frac{\partial f}{\partial x}(x_0, y_0) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta_x f}{\Delta x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{f(x_0 + \Delta x, y_0) - f(x_0, y_0)}{\Delta x} \quad (2)$$

Производная по  $x$  в точке  $(0, 0)$ :

$$\begin{aligned} \frac{\partial f}{\partial x}(0, 0) &= \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\cos \sqrt[3]{(\Delta x)^2} - \cos 0}{\Delta x} = -2 \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\sin^2 \frac{\sqrt[3]{(\Delta x)^2}}{2}}{\Delta x} = \\ &= -2 \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\sin^2 \frac{\sqrt[3]{(\Delta x)^2}}{2} \sqrt[3]{\Delta x}}{4 \left( \frac{\sqrt[3]{(\Delta x)^2}}{2} \right)^2} = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

Производная по  $y$  в точке  $(0, 0)$ :

$$\begin{aligned} \frac{\partial f}{\partial y}(0, 0) &= \lim_{\Delta y \rightarrow 0} \frac{\Delta y + \cos \sqrt[3]{(\Delta y)^2} - \cos 0}{\Delta y} = \lim_{\Delta y \rightarrow 0} \left( 1 + \frac{\cos \sqrt[3]{(\Delta y)^2} - 1}{\Delta y} \right) = \\ &= 1 - 2 \lim_{\Delta y \rightarrow 0} \frac{\sin^2 \frac{\sqrt[3]{(\Delta y)^2}}{2}}{\Delta y} = 1 - 2 \lim_{\Delta y \rightarrow 0} \frac{\sin^2 \frac{\sqrt[3]{(\Delta y)^2}}{2} \sqrt[3]{\Delta y}}{4 \left( \frac{\sqrt[3]{(\Delta y)^2}}{2} \right)^2} = 1 \end{aligned} \quad (4)$$

### 1.2 Дифференцируемость в точке $(0, 0)$

Функция будет дифференцируема в точке  $(0, 0)$ , если для ее приращения в этой точке выполняется равенство:

$$\Delta f(0; 0) = \frac{\partial f}{\partial x}(0; 0) \cdot \Delta x + \frac{\partial f}{\partial y}(0; 0) \cdot \Delta y + o(\rho), \quad (5)$$

где  $\rho = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$ .

Запишем формулу, подставив в нее выше найденные производные:

$$\Delta f(0; 0) = 0 \cdot \Delta x + 1 \cdot \Delta y + o(\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}) = \Delta y + o(\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}) \quad (6)$$

**Ответ:** функция дифференцируема в точке  $(0, 0)$ .

### 1.3 Дифференциал

$$df = \frac{\partial f}{\partial x} dx + \frac{\partial f}{\partial y} dy \quad (7)$$

Найдем частные производные:

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \left( y + \cos \sqrt[3]{x^2 + y^2} \right)'_x = -\frac{2x \sin \sqrt[3]{x^2 + y^2}}{\sqrt[3]{(x^2 + y^2)^2}} \quad (8)$$

$$\frac{\partial f}{\partial y} = \left( y + \cos \sqrt[3]{x^2 + y^2} \right)'_y = 1 - \frac{2y \sin \sqrt[3]{x^2 + y^2}}{\sqrt[3]{(x^2 + y^2)^2}} \quad (9)$$

Терерь запишем полный дифференциал:

$$df = -\frac{2x \sin \sqrt[3]{x^2 + y^2}}{3 \sqrt[3]{(x^2 + y^2)^2}} dx + \left( 1 - \frac{2y \sin \sqrt[3]{x^2 + y^2}}{3 \sqrt[3]{(x^2 + y^2)^2}} \right) dy \quad (10)$$

## 2 задание

Найти производную данной функции в направлении данного вектора в заданной точке  $M$ . Пункт 8.

$$f(x, y, z) = \exp(x + 2xy + 3xyz) \quad (11)$$

по направлению внутренней нормали к поверхности  $x^2 + y^2 + z^2 + 2z = 1$ ,  
 $M\left(\frac{1}{2}, \frac{\sqrt{3}}{2}, 0\right)$

Найдем уравнение касательной плоскости к поверхности  $x^2 + y^2 + z^2 + 2z = 1$  в точке  $M\left(\frac{1}{2}, \frac{\sqrt{3}}{2}, 0\right)$ :

$$F'_x(M) \cdot (x - x_0) + F'_y(M) \cdot (y - y_0) + F'_z(M) \cdot (z - z_0) = 0 \quad (12)$$

$$F'_x = (x^2 + y^2 + z^2 + 2z - 1)'_x = 2x \quad (13)$$

$$F'_y = (x^2 + y^2 + z^2 + 2z - 1)'_y = 2y \quad (14)$$

$$F'_z = (x^2 + y^2 + z^2 + 2z - 1)'_z = 2z + 2 \quad (15)$$

$$F'_x(M) = 2 \frac{1}{2} = 1 \quad (16)$$

$$F'_y(M) = 2 \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3} \quad (17)$$

$$F'_z(M) = 2 \quad (18)$$

Искомая плоскость:

$$x - \frac{1}{2} + \sqrt{3} \cdot (y - \frac{\sqrt{3}}{2}) + 2z = 0 \quad (19)$$

$$x + \sqrt{3}y + 2z - 2 = 0 \quad (20)$$

Вектор нормали к плоскости  $x + \sqrt{3}y + 2z - 2 = 0$  будет выглядеть  $\vec{n} = (1, \sqrt{3}, 2)$ . Поверхность  $x^2 + y^2 + z^2 + 2z = 1$  представляет собой сферу  $x^2 + y^2 + (z + 1)^2 = 2$  с центром  $O = (0, 0, -1)$  и радиусом  $R = \sqrt{2}$ .

Так как точкой начала вектора  $\vec{n}$  является  $M\left(\frac{1}{2}, \frac{\sqrt{3}}{2}, 0\right)$ , а его координаты  $\vec{n} = (1, \sqrt{3}, 2)$ , то точкой конца вектора будет  $\left(\frac{3}{2}, \frac{3\sqrt{3}}{2}, 2\right)$ . То есть вектор  $\vec{n} = (1, \sqrt{3}, 2)$  направлен наружу относительно поверхности.

Внутренняя нормаль  $\vec{n}_{in} = (-1, -\sqrt{3}, -2)$ .

Получим нормированный вектор, по направлению которого будем вычислять производную:

$$|\vec{n}_{in}| = \sqrt{1 + 3 + 4} = \sqrt{8} = 2\sqrt{2} \quad (21)$$

$$l = \left(-\frac{1}{2\sqrt{2}}, -\frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{2}}, -\frac{1}{\sqrt{2}}\right) \quad (22)$$

Вычислим частные производные от  $f(x, y, z) = \exp(x + 2xy + 3xyz)$  в точке  $M\left(\frac{1}{2}, \frac{\sqrt{3}}{2}, 0\right)$ :

$$f'_x = (1 + 2y + 3yz) \exp(x + 2xy + 3xyz) \quad (23)$$

$$f'_y = (2x + 3xz) \exp(x + 2xy + 3xyz) \quad (24)$$

$$f'_z = 3xy \exp(x + 2xy + 3xyz) \quad (25)$$

$$f'_x(M) = \left(1 + 2\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \exp\left(\frac{1}{2} + 2\frac{1}{2}\frac{\sqrt{3}}{2}\right) = (1 + \sqrt{3}) \exp\left(\frac{\sqrt{3} + 1}{2}\right) \quad (26)$$

$$f'_y(M) = \left(2\frac{1}{2}\right) \exp\left(\frac{1}{2} + 2\frac{1}{2}\frac{\sqrt{3}}{2}\right) = \exp\left(\frac{\sqrt{3} + 1}{2}\right) \quad (27)$$

$$f'_z(M) = 3\frac{1}{2}\frac{\sqrt{3}}{2} \exp\left(\frac{1}{2} + 2\frac{1}{2}\frac{\sqrt{3}}{2}\right) = \frac{3\sqrt{3}}{4} \exp\left(\frac{\sqrt{3} + 1}{2}\right) \quad (28)$$

Вычислим производную по направлению  $l$  в точке  $M$ :

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial f}{\partial l} &= \left( \left(1 + \sqrt{3}\right) e^{\frac{\sqrt{3}+1}{2}}, e^{\frac{\sqrt{3}+1}{2}}, \frac{3\sqrt{3}}{4} e^{\frac{\sqrt{3}+1}{2}} \right) \begin{pmatrix} -\frac{1}{2\sqrt{2}} \\ -\frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{2}} \\ -\frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix} = \\
 &= -\frac{1 + \sqrt{3}}{2\sqrt{2}} e^{\frac{\sqrt{3}+1}{2}} - \frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{2}} e^{\frac{\sqrt{3}+1}{2}} - \frac{1.5\sqrt{3}}{2\sqrt{2}} e^{\frac{\sqrt{3}+1}{2}} = -\frac{1 + 3.5\sqrt{3}}{2\sqrt{2}} e^{\frac{\sqrt{3}+1}{2}} \quad (29)
 \end{aligned}$$

**Ответ:**  $-\frac{1+3.5\sqrt{3}}{2\sqrt{2}} e^{\frac{\sqrt{3}+1}{2}}$

### 3 задание

*Произвести указанную замену в данном дифференциальном уравнении. Решить полученное дифференциальное уравнение в новых переменных. Показать, что найденное решение (в исходных переменных) удовлетворяет исходному уравнению. Пункт 3.*

$u$  и  $v$  – новые независимые переменные,  $w$  – новая функция.  $u = x + y$ ,  $v = x - y$ ,  $w + z = xy$ ,

$$\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} + 2 \frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} = 0 \quad (30)$$

$z = z(x, y)$ ,  $w = w(u, v)$ ,  $u = u(x, y)$ ,  $v = v(x, y)$

Для начала найдем все производные второго порядка функции  $w$  по переменным  $x$  и  $y$ :

$$w'_x = w'_u \cdot u'_x + w'_v \cdot v'_x = w'_u + w'_v \quad (31)$$

$$w''_{ux} = w''_{uu} \cdot u'_x + w''_{uv} \cdot v'_x = w''_{uu} + w''_{uv} \quad (32)$$

$$w''_{vx} = w''_{vu} \cdot u'_x + w''_{vv} \cdot v'_x = w''_{vu} + w''_{vv} \quad (33)$$

Вторая производная по  $x$ :

$$w''_{xx} = w''_{uu} + 2w''_{uv} + w''_{vv} \quad (34)$$

$$w'_y = w'_u \cdot u'_y + w'_v \cdot v'_y = w'_u - w'_v \quad (35)$$

$$w''_{uy} = w''_{uu} \cdot u'_y + w''_{uv} \cdot v'_y = w''_{uu} - w''_{uv} \quad (36)$$

$$w''_{vy} = w''_{vu} \cdot u'_y + w''_{vv} \cdot v'_y = w''_{vu} - w''_{vv} \quad (37)$$

Вторая производная по  $y$ :

$$w''_{yy} = w''_{uu} - 2w''_{uv} + w''_{vv} \quad (38)$$

Вторая производная по  $x$  и  $y$ :

$$w''_{yx} = w''_{xy} = w''_{uu} - w''_{vv} \quad (39)$$

Теперь выразим  $z''_{xx}$ ,  $z''_{xy}$  и  $z''_{yy}$  из  $w + z = xy$ :

$$z = xy - w \quad (40)$$

$$z'_x = y - w'_x \quad (41)$$

$$z'_y = x - w'_y \quad (42)$$

$$z''_{xx} = -w''_{xx} = -(w''_{uu} + 2w''_{uv} + w''_{vv}) \quad (43)$$

$$z''_{xy} = 1 - w''_{xy} = 1 - (w''_{uu} - w''_{vv}) \quad (44)$$

$$z''_{yy} = -w''_{yy} = -(w''_{uu} - 2w''_{uv} + w''_{vv}) \quad (45)$$

Перепишем исходное уравнение в новых переменных и функции:

$$-(w''_{uu} + 2w''_{uv} + w''_{vv}) + 2(1 - (w''_{uu} - w''_{vv})) - (w''_{uu} - 2w''_{uv} + w''_{vv}) = 0 \quad (46)$$

$$-w''_{uu} - 2w''_{uv} - w''_{vv} + 2 - 2w''_{uu} + 2w''_{vv} - w''_{uu} + 2w''_{uv} - w''_{vv} = 0 \quad (47)$$

$$-w''_{uu} + 2 - 2w''_{uu} - w''_{uu} = 0 \quad (48)$$

$$4w''_{uu} = 2 \quad (49)$$

$$w''_{uu} = \frac{1}{2} \quad (50)$$

Решим полученное дифференциальное уравнение:

$$\frac{d(w')}{du} = \frac{1}{2} \quad (51)$$

$$d(w') = \frac{1}{2} du \quad (52)$$

$$\int d(w') = \int \frac{1}{2} du \quad (53)$$

$$w' = \frac{u}{2} + C \quad (54)$$



$$dw = \left( \frac{u}{2} + C \right) du \quad (55)$$

$$\int dw = \int \left( \frac{u}{2} + C \right) du \quad (56)$$

$$w = \frac{u^2}{4} + Cu + A, \quad A = \text{const}, \quad C = \text{const} \quad (57)$$

Решение в новых переменных:

$$w = \frac{u^2}{4} + Cu + A \quad (58)$$

Выполним проверку: вернемся к старым переменным и подставим полученные выражения в исходное равенство:

$$u = x + y \quad (59)$$

$$z = xy - w = xy - \frac{u^2}{4} - Cu - A = xy - \frac{(x+y)^2}{4} - C(x+y) - A \quad (60)$$

$$\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} + 2 \frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} = 0 \quad (61)$$

$$z'_x = \left( xy - \frac{(x+y)^2}{4} - C(x+y) - A \right)'_x = y - \frac{x+y}{2} - C = \frac{y}{2} - \frac{x}{2} - C \quad (62)$$

$$z'_y = \left( xy - \frac{(x+y)^2}{4} - C(x+y) - A \right)'_y = x - \frac{x+y}{2} - C = \frac{x}{2} - \frac{y}{2} - C \quad (63)$$

$$z''_{xx} = \left( \frac{y}{2} - \frac{x}{2} - C \right)'_x = -\frac{1}{2} \quad (64)$$

$$z''_{xy} = \left( \frac{y}{2} - \frac{x}{2} - C \right)'_y = \frac{1}{2} \quad (65)$$

$$z''_{yy} = \left( \frac{x}{2} - \frac{y}{2} - C \right)'_y = -\frac{1}{2} \quad (66)$$

Подставим полученные выражения в исходное уравнение уравнение:

$$-\frac{1}{2} + 2\frac{1}{2} - \frac{1}{2} = 0 \quad (67)$$

Получили верное равенство.

**Ответ:**  $w = \frac{u^2}{4} + Cu + A$

## 4 задание

Доказать, что уравнение  $F(x, y) = 0$ ,  $F = (F_1, F_2)$  задает неявно дифференцируемое отображение  $y = f(x)$ ,  $y = (y_1, y_2)$ ,  $x = (x_1, x_2)$  в окрестности точки  $M(x_1, x_2, y_1, y_2)$ . Найти производную этого отображения в точке  $M$  (матрица Якоби) и одну (любую на выбор) из производных второго порядка  $\frac{\partial f_i}{\partial x_j}$  в точке  $M$ . Пункт 3.

$$\begin{cases} F_1(x, y) = x_1 + x_2 + y_1 + 2y_2 - 5, \\ F_2(x, y) = x_1^3 + x_2^2 + y_1^4 + y_2^4 - 4, \end{cases} \quad M(1, 1, 1, 1) \quad (68)$$

$$\begin{cases} F_1(M) = 1 + 1 + 1 + 2 - 5 = 0 \\ F_2(M) = 1 + 1 + 1 + 1 - 4 = 0 \end{cases} \quad (69)$$

$$\begin{cases} y_1 = f_1(x) = f_1(x_1, x_2) \\ y_2 = f_2(x) = f_2(x_1, x_2) \end{cases} \quad (70)$$

$$|F'_y| = \begin{vmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial y_1} & \frac{\partial F_1}{\partial y_2} \\ \frac{\partial F_2}{\partial y_1} & \frac{\partial F_2}{\partial y_2} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 2 \\ 4y_1^3 & 4y_2^3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 2 \\ 4 & 4 \end{vmatrix} = -4 \neq 0 \quad (71)$$

Следовательно, уравнение  $F(x, y) = 0$ ,  $F = (F_1, F_2)$  задает неявно дифференцируемое отображение  $y = f(x)$ ,  $y = (y_1, y_2)$ ,  $x = (x_1, x_2)$  в окрестности точки  $M(x_1, x_2, y_1, y_2)$ .

$$f'_x(M) = -\frac{F'_x(M)}{F'_y(M)} \quad (72)$$

$$F'_x(M) = \begin{pmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial x_1} & \frac{\partial F_1}{\partial x_2} \\ \frac{\partial F_2}{\partial x_1} & \frac{\partial F_2}{\partial x_2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 3x_1^2 & 2x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 3 & 2 \end{pmatrix} \quad (73)$$

$$(F'_y)^{-1}(M) = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 4 & 4 \end{pmatrix}^{-1} = \begin{pmatrix} -1 & \frac{1}{2} \\ 1 & -\frac{1}{4} \end{pmatrix} \quad (74)$$

$$f'_x(M) = -F'_x(F'_y)^{-1} = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 3 & 2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -1 & \frac{1}{2} \\ 1 & -\frac{1}{4} \end{pmatrix} = -\begin{pmatrix} 0 & \frac{1}{4} \\ -1 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & -\frac{1}{4} \\ 1 & -1 \end{pmatrix} \quad (75)$$

Найдем производную второго порядка  $\frac{\partial^2 f_1}{\partial x_1^2}$

$$F'_x = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 3x_1^2 & 2x_2 \end{pmatrix} \quad (76)$$

$$(F'_y)^{-1} = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 4y_1^3 & 4y_2^3 \end{pmatrix}^{-1} = \frac{1}{4y_2^3 - 8y_1^3} \begin{pmatrix} 4y_2^3 & -2 \\ -4y_1^3 & 1 \end{pmatrix} \quad (77)$$

$$f'_x = -\frac{1}{4y_2^3 - 8y_1^3} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 3x_1^2 & 2x_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 4y_2^3 & -2 \\ -4y_1^3 & 1 \end{pmatrix} \quad (78)$$

Значению  $\frac{\partial f_1}{\partial x_1}$  соответствует выражение, стоящее на позиции  $[0, 0]$  в полученной матрице  $f'_x$ :

$$\frac{\partial f_1}{\partial x_1} = \frac{y_1^3 - y_2^3}{y_2^3 - 2y_1^3} \quad (79)$$

$$\frac{\partial^2 f_1}{\partial x_1^2} = 0 \quad (80)$$

## 5 задание

*С помощью метода Лагранжа исследовать функцию на условный экстремум при данном уравнении связи. Пункт 2.*

$$f(x, y, z) = x^2 + 2y^2 + 3z^2, \quad x + 2y + 3z = 0, \quad x^2 + y^2 + z^2 = 1 \quad (81)$$

Запишем вид функции Лагранжа:

$$L = u(x, y, z) - \lambda_1 \phi_1(x, y, z) - \lambda_2 \phi_2(x, y, z) \quad (82)$$

$$L = x^2 + 2y^2 + 3z^2 - \lambda_1 (x + 2y + 3z) - \lambda_2 (x^2 + y^2 + z^2 - 1) \quad (83)$$

$$\begin{cases} L'_x = 2x - \lambda_1 - 2\lambda_2 x = 0 \\ L'_y = 4y - 2\lambda_1 - 2\lambda_2 y = 0 \\ L'_z = 6z - 3\lambda_1 - 2\lambda_2 z = 0 \\ L'_{\lambda_1} = x + 2y + 3z = 0 \\ L'_{\lambda_2} = x^2 + y^2 + z^2 - 1 = 0 \end{cases} \quad (84)$$

$$L'_z - L'_y - L'_x = 6z - 4y - 2x - 2\lambda_2(z - y - x) = 0 \quad (85)$$

$$6z - 4y - 2x - 2\lambda_2(z - y - x) = 0 \Leftrightarrow 3z - 2y - x = \lambda_2(z - y - x) \quad (86)$$

$$\lambda_2 = \frac{3z - 2y - x}{z - y - x} \quad (87)$$

Воспользовавшись численным методом решения получаем следующие решения системы уравнений:

$$1) \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ \lambda_1 \\ \lambda_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.959 \\ -0.233 \\ -0.164 \\ -0.207 \\ 1.108 \end{pmatrix} \quad (88)$$

$$2) \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ \lambda_1 \\ \lambda_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0.959 \\ 0.233 \\ 0.164 \\ 0.207 \\ 1.108 \end{pmatrix} \quad (89)$$

$$3) \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ \lambda_1 \\ \lambda_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.099 \\ 0.813 \\ -0.575 \\ -0.260 \\ 2.320 \end{pmatrix} \quad (90)$$

$$4) \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ \lambda_1 \\ \lambda_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0.099 \\ -0.813 \\ 0.575 \\ 0.260 \\ 2.320 \end{pmatrix} \quad (91)$$

**Рассмотрим случай 1) :**

$$\begin{aligned} L(x, y, z) &= x^2 + 2y^2 + 3z^2 + 0.207(x + 2y + 3z) - 1.108(x^2 + y^2 + z^2 - 1) = \\ &= -0.108x^2 + 0.892y^2 + 1.892z^2 + 0.207(x + 2y + 3z) + 1.108 \end{aligned} \quad (92)$$

$$d^2L = \begin{pmatrix} -0.216 & 0 & 0 \\ 0 & 1.784 & 0 \\ 0 & 0 & 3.784 \end{pmatrix} \Rightarrow d^2L = -0.216dx^2 + 1.784dy^2 + 3.784dz^2 \quad (93)$$

Из уравнений связи выразим  $dx$  и  $dy$ :

$$\begin{aligned} \begin{cases} x + 2y + 3z = 0, \\ x^2 + y^2 + z^2 = 1 \end{cases} &\Rightarrow \begin{cases} dx + 2dy + 3dz = 0, \\ 2xdx + 2ydy + 2zdz = 0 \end{cases} \Rightarrow \\ \begin{cases} dx = -2dy - 3dz, \\ dy = \frac{3x-z}{y-2x}dz \end{cases} &\Rightarrow \begin{cases} dx = -2\frac{3x-z}{y-2x}dz - 3dz, \\ dy = \frac{3x-z}{y-2x}dz \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} dx = \frac{3y-2z}{2x-y}dz, \\ dy = \frac{3x-z}{y-2x}dz \end{cases} \end{aligned} \quad (94)$$

$$\begin{aligned} d^2L &= -0.216 \left( \frac{-3 \cdot 0.233 + 2 \cdot 0.164}{2 \cdot 0.959 + 0.233} \right)^2 dz^2 + 1.784 \left( \frac{3 \cdot 0.959 + 0.164}{-0.233 - 2 \cdot 0.959} \right)^2 dz^2 + \\ &+ 3.784dz^2 = 3.780dz^2 + 1.784 \left( \frac{3 \cdot 0.959 + 0.164}{-0.233 - 2 \cdot 0.959} \right)^2 dz^2 > 0 \end{aligned} \quad (95)$$

Следовательно,  $(0.959, -0.233, -0.164)$  – **точка условного минимума.**

*Рассмотрим случай 2) :*

$$\begin{aligned} d^2L = & -0.216 \left( \frac{3 \cdot 0.233 - 2 \cdot 0.164}{-2 \cdot 0.959 - 0.233} \right)^2 dz^2 + 1.784 \left( \frac{-3 \cdot 0.959 - 0.164}{0.233 + 2 \cdot 0.959} \right)^2 dz^2 + \\ & + 3.784 dz^2 = 3.780 dz^2 + 1.784 \left( \frac{-3 \cdot 0.959 - 0.164}{0.233 + 2 \cdot 0.959} \right)^2 dz^2 > 0 \end{aligned} \quad (96)$$

Следовательно,  $(-0.959, 0.233, 0.164)$  – **точка условного минимума**.

*Рассмотрим случай 3) :*

$$\begin{aligned} L(x, y, z) = & x^2 + 2y^2 + 3z^2 + 0.260(x + 2y + 3z) - 2.320(x^2 + y^2 + z^2 - 1) = \\ = & -1.320x^2 - 0.320y^2 + 0.680z^2 + 0.260(x + 2y + 3z) + 2.320 \end{aligned} \quad (97)$$

$$d^2L = \begin{pmatrix} -2.640 & 0 & 0 \\ 0 & -0.640 & 0 \\ 0 & 0 & 1.360 \end{pmatrix} \Rightarrow d^2L = -2.640dx^2 - 0.640dy^2 + 1.360dz^2 \quad (98)$$

Из уравнений связи выразим  $dx$  и  $dy$ :

$$\begin{aligned} \begin{cases} x + 2y + 3z = 0, \\ x^2 + y^2 + z^2 = 1 \end{cases} & \Rightarrow \begin{cases} dx + 2dy + 3dz = 0, \\ 2xdx + 2ydy + 2zdz = 0 \end{cases} \Rightarrow \\ \begin{cases} dx = -2dy - 3dz, \\ dy = \frac{3x-z}{y-2x} dz \end{cases} & \Rightarrow \begin{cases} dx = -2\frac{3x-z}{y-2x} dz - 3dz, \\ dy = \frac{3x-z}{y-2x} dz \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} dx = \frac{3y-2z}{2x-y} dz, \\ dy = \frac{3x-z}{y-2x} dz \end{cases} \end{aligned} \quad (99)$$

$$\begin{aligned} d^2L = & -2.640 \left( \frac{3 \cdot 0.813 + 2 \cdot 0.575}{2 \cdot 0.099 - 0.813} \right)^2 dz^2 - 0.640 \left( \frac{3 \cdot 0.813 + 0.575}{0.813 + 2 \cdot 0.575} \right)^2 dz^2 + \\ & + 1.360 dz^2 = -32.696 dz^2 - 0.640 \left( \frac{3 \cdot 0.813 + 0.575}{0.813 + 2 \cdot 0.575} \right)^2 dz^2 < 0 \end{aligned} \quad (100)$$

Следовательно,  $(0.099, 0.813, -0.575)$  – **точка условного максимума**.

*Рассмотрим случай 4) :*

$$d^2L = -2.640 \left( \frac{-3 \cdot 0.813 - 2 \cdot 0.575}{-2 \cdot 0.099 + 0.813} \right)^2 dz^2 - 0.640 \left( \frac{-3 \cdot 0.813 - 0.575}{-0.813 - 2 \cdot 0.575} \right)^2 dz^2 + 1.360 dz^2 = -32.696 dz^2 - 0.640 \left( \frac{-3 \cdot 0.813 - 0.575}{-0.813 - 2 \cdot 0.575} \right)^2 dz^2 < 0 \quad (101)$$

Следовательно,  $(-0.099, -0.813, 0.575)$  – *точка условного максимума.*