

Математика В 501-303

ВТОРОЕ ЗАДАНИЕ

(срок сдачи 10-16 мая)

I. Первые интегралы и их использование для решений автономных систем

С. §14: 2; 12.

Ф.: 1104.

1. Проверить, что функция $u = y + xz^2$ является первым интегралом системы уравнений

$$\begin{cases} \dot{x} = -x(2xz^2 + 2y + 3z), \\ \dot{y} = xz^3, \\ \dot{z} = z(xz^2 + y + z). \end{cases}$$

Найти все первые интегралы системы.

2. Найти все первые интегралы уравнений и систем уравнений. Затем, используя их, исследовать поведение траекторий на фазовой плоскости. В пункте в) найти также интегральные кривые системы.

a) $\ddot{x} + \sin x = 0$; б) $\ddot{x} - x + x^2 = 0$; в) $\begin{cases} \dot{x} = 2xy, \\ \dot{y} = x^2 + y^2 - 1; \end{cases}$

С. §16: 6; 26.

- 3*. Дифференциальное уравнение $\ddot{x} + x^5 = 0$ описывает колебания, период T которых зависит от начальных значений: $T = T(x(0); \dot{x}(0))$. Найти отношение $T(1, 1)/T(2, 2)$.

II. Линейные однородные уравнения в частных производных первого порядка

С. §17: 1; 16; 15; 79; 84.

1. Найти общее решение уравнения $2\frac{\partial u}{\partial x} + 3\frac{\partial u}{\partial y} = 0$. Затем в пунктах а), б) и в) решить соответствующую задачу Коши. Объяснить получившиеся результаты:

а) $u = 10$ при $3x - 2y = 5$;
б) $u = e^x$ при $3x - 2y = 5$;
в) $u = \sin y$ при $x = 0$.

- 5*. Найти поверхность, проходящую через кривую $y = x, z = 2y + y^3$ и обладающую свойством, что любая касательная плоскость пересекает ось Ох в точке с абсциссой, вдвое меньшей абсциссы точки касания.

III. Вариационное исчисление

С. §19: 12; 33; 76; 102.

С. §20.1: 7; 12; 14.

С. §20.2: 1.

С. §20.3: 7.

С. §21: 7.

6. Исследовать на экстремум при всех значениях вещественного параметра a :

а) $J[y] = \int_0^{\pi/2} (y'^2 - ay^2) dx, y(0) = 0, y(\pi/2) = 0$;
б) $J[y] = \int_0^{\pi/2} (y'^2 - ay^2) dx, y(0) = 0$.

IV. Повторение

С. §6: 25.

С. §7: 56.

С. §8: 126.

С. §9: 31.

С. §11: 55.

С. §13: 19.

С. §17: 84.

С. §20.1: 7.

I. Первые интегралы и их использование для решений автоматических систем

с n14

N2

Исследовать при всех значениях вещественного параметра a поведение фазовых траекторий в окрестности положения равновесия $(0, 0)$ для систем (1-11):

$$2. \begin{cases} \dot{x} = y + ax\sqrt{x^2 + y^2}, \\ \dot{y} = x + ay\sqrt{x^2 + y^2}. \end{cases}$$

$$\text{при } a=0: \begin{cases} \dot{x} = y \\ \dot{y} = x \end{cases} \Leftrightarrow \begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$

$$\rightarrow \begin{vmatrix} -1 & 1 \\ 1 & -1 \end{vmatrix} = 0 \Rightarrow \lambda_1^2 - 1 = 0 \Rightarrow \lambda_{1,2} = \pm 1 \text{ седло}$$

при $a \neq 0$: переходим к полярным:

$$\begin{cases} x = r \cos \varphi \\ y = r \sin \varphi \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \dot{r} \cos \varphi - r \sin \varphi \cdot \dot{\varphi} = r \sin \varphi + a r \cos \varphi \cdot r \\ \dot{r} \sin \varphi + r \cos \varphi \cdot \dot{\varphi} = r \cos \varphi + a r \sin \varphi \cdot r \end{cases}$$

$$\begin{pmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi \\ \sin \varphi & \cos \varphi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{r} \\ \dot{\varphi}r \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi \\ \sin \varphi & \cos \varphi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} ar^2 \\ r \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \dot{r} \\ \dot{\varphi}r \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi \\ -\sin \varphi & \cos \varphi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi \\ \sin \varphi & \cos \varphi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} ar^2 \\ r \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \dot{r} \\ \dot{\varphi}r \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \sin 2\varphi \\ 0 & \cos 2\varphi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} ar^2 \\ r \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{cases} \dot{r} = ar^2 + r \sin 2\varphi \\ \dot{\varphi} = \cos 2\varphi \end{cases}$$

в окрестности $(0,0)$: $\begin{cases} \dot{r} \sim r \sin \varphi \\ \dot{\varphi} = \omega \varphi \end{cases}$, система не зависит от параметра

→ На система ведёт себя как сегно.

2. $(0,0)$ — центр при $a = 0$. При $a < 0$ спирали по часовой стрелке закручиваются вокруг $(0,0)$ при $t \rightarrow +\infty$, а при $a > 0$ они раскручиваются от $(0,0)$ при $t \rightarrow +\infty$.

Объем неправильный. Обнажает симметрию $\propto \sqrt{3}$.

$\sqrt{12}$

Исследовать при всех значениях вещественного параметра a поведение фазовых траекторий на всей фазовой плоскости для систем (12–21):

$$12. \begin{cases} \dot{x} = y + ax(x^2 + y^2 - 2), \\ \dot{y} = -x + ay(x^2 + y^2 - 2). \end{cases}$$

при $a=0$: $\begin{cases} \dot{x} = y \\ \dot{y} = -x \end{cases} \Rightarrow \begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{vmatrix} -1 & 1 \\ -1 & -1 \end{vmatrix} = 0 \Rightarrow \lambda^2 + 1 = 0 \\ \lambda_{1,2} = \pm i \end{cases} \Rightarrow \text{центр}$

при $a \neq 0$: $\begin{cases} \dot{x} = y + ax(x^2 + y^2 - 2) \\ \dot{y} = -x + ay(x^2 + y^2 - 2) \end{cases}$

$$\begin{cases} x = r \cos \varphi \\ y = r \sin \varphi \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \dot{r} \cos \varphi - r \sin \varphi \dot{\varphi} = r \dot{\varphi} \sin \varphi + a r \cos \varphi (r^2 - 2) \\ \dot{r} \sin \varphi + r \cos \varphi \dot{\varphi} = -r \cos \varphi + a r \sin \varphi (r^2 - 2) \end{cases}$$

$$\begin{pmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi \\ \sin \varphi & \cos \varphi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{r} \\ \dot{\varphi} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi \\ \sin \varphi & -\cos \varphi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} ar(r^2 - 2) \\ r \end{pmatrix}$$

$$\Rightarrow \begin{pmatrix} \dot{r} \\ \dot{\varphi} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} ar(r^2 - 2) \\ r \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{cases} \dot{r} = ar(r^2 - 2) \\ \dot{\varphi} = -1 \end{cases}$$

$\dot{\varphi} = -1 \Rightarrow$ движение по часовой стрелке (не зависит от a)

Определение. Предельным циклом системы (1) называется такая замкнутая траектория (1) в области Ω , которая изолирована от всех остальных замкнутых траекторий системы (1) в области Ω .

a) устойчивый (притягивающий) предельный цикл, где траектории навиваются на предельный цикл с обеих сторон при $t \rightarrow +\infty$ (см. пример 3);

б) неустойчивый (отталкивающий) предельный цикл, где траектории — спирали удаляются от предельного цикла с обеих сторон при $t \rightarrow +\infty$;

в) полуустойчивый предельный цикл, где траектории с одной стороны навиваются на предельный цикл и удаляются от него с другой стороны при $t \rightarrow +\infty$.

$$\dot{r} = ar(r^2 - 2) \Rightarrow r=2: \dot{r}=0 \Rightarrow r = \text{const} \quad (\text{окружка траектории})$$

при $a > 0$: при $t \rightarrow +\infty$ при $r < 2, r \rightarrow 0$ при $r > 2, r \rightarrow +\infty \Rightarrow$ **устойчивый предельный цикл**

при $a < 0$: при $t \rightarrow +\infty$ при $r < 2, r \rightarrow 2$ при $r > 2, r \rightarrow 2 \Rightarrow$ **устойчивый предельный цикл**

12. $(0,0)$ — центр при $a = 0$. При $a \neq 0$ траекториями являются спирали с направлением движения по часовой стрелке при $t \rightarrow +\infty$. Окружность $x^2 + y^2 = 2$ — устойчивый предельный цикл при $a < 0$ и неустойчивый предельный цикл при $a > 0$.

Для того чтобы непрерывно дифференцируемая функция $u(x)$, $x \in G$, была первым интегралом системы $\dot{x} = f(x)$, необходимо и достаточно, чтобы ее производная в силу системы $\dot{u}(x) = (\text{grad } u(x), f(x)) = \sum_{i=1}^n f_i(x) \frac{\partial u}{\partial x_i} = 0$ в области G .

Первые интегралы $u_1(x), \dots, u_k(x)$, $1 \leq k < n$, автономной системы называются независимыми в области $G_0 \subseteq G$, если ранг матрицы Якоби

$$\left\| \frac{\partial u_i(x)}{\partial x_j} \right\|, \quad i = \overline{1, k}, \quad j = \overline{1, n},$$

равен k для всех точек $x \in G_0$.

Р:

1164

1164. Проверить, являются ли независимыми первые интегралы $\frac{x+y}{z+x} = C_1$, $\frac{z-y}{x+y} = C_2$ системы

$$\frac{dx}{x} = \frac{dy}{y} = \frac{dz}{z}.$$

$$\frac{\partial C_1}{\partial x} = \frac{(z+x) - (x+y)}{(z+x)^2}$$

$$J = \begin{pmatrix} \frac{\partial C_1}{\partial x} & \frac{\partial C_1}{\partial y} & \frac{\partial C_1}{\partial z} \\ \frac{\partial C_2}{\partial x} & \frac{\partial C_2}{\partial y} & \frac{\partial C_2}{\partial z} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{z-y}{(x+y)^2} & \frac{1}{x+y} & -\frac{x+y}{(x+y)^2} \\ \frac{y-z}{(x+y)^2} & -\frac{x+z}{(x+y)^2} & \frac{1}{x+y} \end{pmatrix} \cdot \frac{(z+x)^2}{(x+y)^2} \sim \begin{pmatrix} -(y-z) & z+x & -x+y \\ y-z & -(x+z) & x+y \end{pmatrix}$$

$$\checkmark \begin{pmatrix} -(y-z) & z+x & -(x+yz) \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \rightarrow \text{rg } Y = 1 < 2 \Rightarrow \text{зависимы}$$

. 1164. Зависимы.

$\sqrt{T_1}$

1. Проверить, что функция $u = y + xz^2$ является первым интегралом системы уравнений

$$\begin{cases} \dot{x} = -x(2xz^2 + 2y + 3z), \\ \dot{y} = xz^3, \\ \dot{z} = z(xz^2 + y + z). \end{cases}$$

Найти все первые интегралы системы.

$$u = \text{первый интеграл} \Leftrightarrow \dot{u} = \left[-x(2xz^2 + 2y + 3z) \right] \frac{\partial u}{\partial x} + \left(xz^3 \right) \frac{\partial u}{\partial y} + \left[z(xz^2 + y + z) \right] \frac{\partial u}{\partial z} = 0$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} = -2z^2, \quad \frac{\partial u}{\partial y} = 1, \quad \frac{\partial u}{\partial z} = 2xz$$

$$\begin{aligned} \dot{u} &= \left[-x(2xz^2 + 2y + 3z) \right] \frac{\partial u}{\partial x} + \left(xz^3 \right) \frac{\partial u}{\partial y} + \left[z(xz^2 + y + z) \right] \frac{\partial u}{\partial z} = 0 \\ &= \left[-x(2xz^2 + 2y + 3z) \right] z^2 + xz^3 + z(xz^2 + y + z)2xz = 0 \\ &= xz^2 \left[-2xz^2 - 2y - 3z + z + 2xz^2 + 2y + 2z \right] = 0 \\ &xz^2 \cdot 0 = 0 \Rightarrow u = y + xz^2 = \text{первый интеграл} \end{aligned}$$

$$\begin{cases} \dot{y} = (u-y)z \\ \dot{z} = z(u+z) \end{cases} \Rightarrow dy \cdot (u+z) = dz \cdot (u-y)$$

$$\frac{dy}{u-y} = \frac{dz}{u+z}$$

$$J = xz^3 + xz^2y + xz^4$$

$$-\ln|u-y| = \ln|u+z| + C, \quad C \in \mathbb{R}$$

$$\frac{1}{u-y} = \frac{1}{v} (u+z) \Rightarrow v = (u+z)(u-y)$$

$$J = xz^2(2+y+xz^2)$$

$$\Rightarrow Y = \begin{pmatrix} z^2 & 1 & 2xz \\ z^3 + z^2y + z^4 & xz^2 & 3z^2x + 2xyz + 4z^3x^2 \end{pmatrix}, \text{rg } Y = 2 \Rightarrow u \text{ и } J \text{ независимы}$$

NT2

2. Найти все первые интегралы уравнений и систем уравнений. Затем, используя их, исследовать поведение траекторий на фазовой плоскости. В пункте в) найти также интегральные кривые системы.

a) $\ddot{x} + \sin x = 0$; б) $\ddot{x} - x + x^2 = 0$; в) $\begin{cases} \dot{x} = 2xy, \\ \dot{y} = x^2 + y^2 - 1; \end{cases}$

a) $\ddot{x} + \sin x = 0 \rightarrow \begin{cases} \dot{x} = y, \\ \dot{y} = -\sin x \end{cases}$

$$y dy + \sin x dx = 0$$

$$\begin{cases} \dot{x} = y \\ \dot{y} = -\sin x \end{cases} \Rightarrow \frac{y^2}{2} - \cos x = C \quad \begin{array}{l} \text{первый интеграл} \\ \text{(полная энергия)} \\ \text{системы} \end{array}$$

тогда $M_k (\pi k, 0), k \in \mathbb{Z}$ — положения равновесия

при $\exists k$ M_k = центр, при $\nexists k$ M_k

M_k = седло, при $\nexists k$

$$\ddot{x}^2 = 2(\cos x + C)$$

при $C < -1 \Rightarrow (2\cos x + C) < 0$, что невозможно

$$\Rightarrow C \geq -1$$

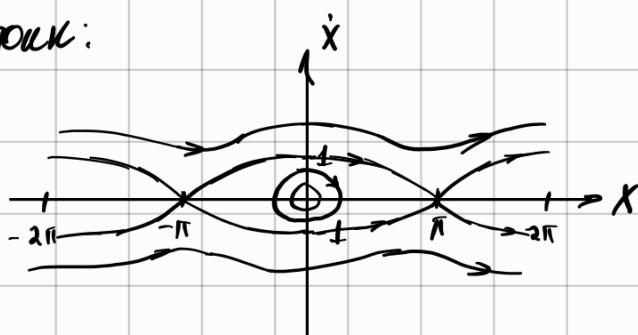
при $C \in [-1, 1] \rightarrow$ разовые траектории замкнутые

при $C = 1 \rightarrow$ две сепаратрисы

$$\dot{x} = \pm \sqrt{2(\cos x + 1)} = \pm 2 \cos \frac{x}{2}$$

при $C > 1 \rightarrow$ разовые траектории не пересекают самопресек.

График:



$$d) \ddot{x} - x + x^2 = 0 \Rightarrow \begin{cases} \dot{x} = y \\ \dot{y} = x - x^2 \end{cases}$$

$(x^2 - x)dx + ydy = 0$

$$\frac{x^3}{3} - \frac{x^2}{2} + \frac{y^2}{2} = c \quad \text{неприв. интеграл}$$

$$\Rightarrow y = \pm \sqrt{x^2 - \frac{2}{3}x^3 + 2c}$$

$$\begin{cases} \dot{x} = y \\ \dot{y} = x - x^2 \end{cases} \Rightarrow \begin{array}{l} (0,0) \text{ и } (1,0) \\ \text{анал. метод} \end{array} \quad \begin{array}{l} (b(0,0) - \text{седло}) \\ \text{неконечн. на оси} \end{array}$$

При $C=0$: $y = \pm \sqrt{x^2 - \frac{2}{3}x^3}$ проходит через $(0,0) \Rightarrow$ седлопаруса
(изогнутое на оси)
 $x^2 - \frac{2}{3}x^3 \Rightarrow x \leq \frac{3}{2} \Rightarrow$ седлопаруса
седло в точке $(0,0)$ и $(\frac{3}{2}, 0)$

Вокруг $(1,0)$: $C = -\frac{1}{6}$ гармоническое траектории вокруг центра

$C > 0$ неограниченное траектории

$$b) \begin{cases} \dot{x} = 2xy \\ \dot{y} = x^2 + y^2 - 1 \end{cases} \Rightarrow (x^2 + y^2 - 1)dx - 2xydy = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial y}[x^2 + y^2 - 1] = 2y \quad \text{пред. } \mu = \mu(x)$$

$$\frac{\partial}{\partial x}[-2xy] = -2y$$

$$\frac{\partial}{\partial y}[\mu(x^2 + y^2 - 1)] = 2y\mu$$

$$\frac{\partial}{\partial x}[-2xy\mu] = -2y\mu - 2xy \frac{\partial \mu}{\partial x}$$

$$2y\mu = -2y\mu - 2xy \frac{\partial \mu}{\partial x}$$

$$4y\mu = -2xy \frac{\partial \mu}{\partial x} \Rightarrow 2\mu = -x \frac{\partial \mu}{\partial x} \Rightarrow -2 \frac{\partial \mu}{\mu} = \frac{\partial \mu}{x} \Rightarrow \mu = \frac{1}{x^2}$$

$$\Rightarrow \left(1 + \frac{y^2}{x^2} - \frac{1}{x^2}\right)dx - 2\frac{y}{x}dy = 0$$

$$d\left(x - \frac{y^2}{x} + \frac{1}{x}\right) = 0 \Rightarrow x - \frac{y^2}{x} + \frac{1}{x} = C$$

интегральные кривые

$$\begin{cases} \dot{x} = 2xy \\ \dot{y} = x^2 + y^2 - 1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 2xy = 0 \\ x^2 + y^2 - 1 = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{matrix} (-1, 0) & (1, 0) \\ (0, -1) & (0, 1) \end{matrix}$$

$$1) \begin{cases} u = x \pm 1 \\ v = y \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x = u \mp 1 \\ y = v \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \dot{u} = 2(u \mp 1)v \\ \dot{v} = (u \mp 1)^2 + v^2 - 1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \dot{u} = \pm 2v \\ v = \mp 2u \end{cases} \Rightarrow \begin{pmatrix} 0 & \mp 2 \\ \mp 2 & 0 \end{pmatrix} \Rightarrow \lambda_{1,2} = \pm 2$$

седло

бутылка

$(-1, 0) \cup (1, 0)$

$$2) \begin{cases} u = x \\ v = y \mp 1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x = u \\ y = v \mp 1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \dot{u} = 2u(v \mp 1) \\ \dot{v} = u^2 + (v \mp 1)^2 - 1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \dot{u} = \pm 2u \\ v = \mp u \end{cases} \Rightarrow \begin{pmatrix} \mp 2 & 0 \\ 0 & \mp 2 \end{pmatrix} \Rightarrow \lambda_{1,2} = \mp 2 \text{ upz}$$

бутылка $(0, 1)$ $\lambda_{1,2} = 2$ upz

нест. узел

бутылка $(0, -1)$ $\lambda_{1,2} = -2$ upz

седло. седло

$$(-1, 0) \cup (1, 0) - \text{седло} \Rightarrow C = 2 \text{ upz}$$

сепараторы

$(0, 1)$ - нестационарная точка, от которой расходятся траектории

$(0, -1)$ - стационарная точка, к ней расходятся траектории

$\mathcal{C} : n \ 16 \quad 6.26$

Найдя первый интеграл, решить системы (1-17) в указанных областях:

N_6

6. $\begin{cases} \dot{x} = x - xy, \\ \dot{y} = -x + xy, \quad (x > 0, \ x + y > 1). \end{cases}$

$$\dot{x} + \dot{y} = (x - xy) + (-x + xy) = 0$$

$$(x + y)' = 0$$

$$\begin{aligned} x + y &= C_1 > 1 \\ y &= -x + C_1 \end{aligned} \Rightarrow \begin{cases} \dot{x} = x(1 + x - C_1) \\ y = -x + C_1 \end{cases} \Rightarrow \frac{dx}{x(x+1-C_1)} = dt$$

$$\frac{1}{C_1-1} \int \left[\frac{1}{x+1-C_1} - \frac{1}{x} \right] dx = t + C_2$$

$$\frac{1}{C_1-1} [\ln|x+1-C_1| - \ln x] = t + C_2 \Rightarrow \ln \left| \frac{x+1-C_1}{x} \right| = (t + C_2)(C_1-1) = t(C_1-1) + C_2$$

$$\Rightarrow 1 + \frac{1-C_1}{x} = \exp[(C_1-1)t] \cdot C_2 \Rightarrow x = \frac{(1-C_1)}{\exp[(C_1-1)t]C_2 - 1}$$

$$\Rightarrow y = C_1 - x = C_1 - \frac{(1-C_1)}{\exp[(C_1-1)t]C_2 - 1}$$

$\Rightarrow \begin{cases} x = \frac{1-C_1}{\exp[(C_1-1)t]C_2 - 1} \\ y = C_1 - \frac{1-C_1}{\exp[(C_1-1)t]C_2 - 1} \end{cases}$

6. $x = \frac{C_1-1}{(C_1-1)C_2 e^{(C_1-1)t} + 1}, \ y = C_1 - \frac{C_1-1}{(C_1-1)C_2 e^{(C_1-1)t} + 1}.$?

Найдя два независимых первых интеграла системы, решить системы
 (18-26) в указанных областях:

№26

$$26. \begin{cases} \dot{x} = x^2, \\ \dot{y} = 2x^3 - xy - z, \\ \dot{z} = xz - 2x^4, \quad (x > 0). \end{cases}$$

$$(2x^4 - xz)dx + x^2dz = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial z} (2x^4 - xz) = -x \quad \Rightarrow \\ \frac{\partial}{\partial x} (x^2) = 2x \quad \text{**}$$

\Rightarrow умножим на $\mu = \mu(x)$

$$\frac{\partial}{\partial z} \left[\mu(2x^4 - xz) \right] = -x\mu \quad \Rightarrow -x\mu = x^2 \frac{\partial \mu}{\partial x} + 2x\mu \\ \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu x^2 \right] = x^2 \frac{\partial \mu}{\partial x} + 2\mu x \quad -3\mu = x \frac{\partial \mu}{\partial x} \\ -3 \frac{\partial x}{x} = \frac{\partial \mu}{\mu} \Rightarrow \mu = \frac{1}{x^3}$$

$$\Rightarrow (2x^4 - xz)dx + x^2dz = 0 / \frac{1}{x^3} \quad \text{nonn gug.}$$

$$(2x - \frac{z}{x^2})dx + \frac{dz}{x} = 0$$

$$d \left(x^2 + \frac{z}{x} \right) = 0 \rightarrow x^2 + \frac{z}{x} = C_1 \quad \text{первый интеграл}$$

$$\Rightarrow z = (C_1 - x^2)x$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \dot{x} = x^2 \\ y = 3x^3 - xy - C_1 x \\ z = (C_1 - x^2)x \end{cases}$$

$$(3x^3 - xy - C_1 x)dx - x^2 dy = 0$$

$$(3x^2 - y - C_1)dx - xdy = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial y} (3x^2 - y - C_1) = -1$$

" " \Rightarrow

$$\frac{\partial}{\partial x} (-x) = -1$$

$$\Rightarrow d(x^3 - xy - C_1 x) = 0 \Rightarrow x^3 - xy - C_1 x = C_2 \text{ nebbun
unmerpan}$$

$$y = \frac{C_2 + C_1 x - x^3}{-x}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \dot{x} = x^2 \\ y = \frac{C_2 + C_1 x - x^3}{-x} \\ z = (C_1 - x^2)x \end{cases}$$

$$\dot{x} = x^2 \Rightarrow \frac{dx}{x^2} = dt \Rightarrow -\frac{1}{x} = t + C_3$$

$$\Rightarrow x = \frac{1}{C_3 - t}$$

$$\Rightarrow y = C_2(C_3 - t) - C_1 + \frac{1}{(C_3 - t)^2}$$

$$z = \frac{C_1}{C_3 - t} - \frac{1}{(C_3 - t)^3}$$

$$26. x = \frac{1}{C_3 - t}, y = C_1(C_3 - t) + C_2 + \frac{1}{(C_3 - t)^2}, z = \frac{-C_2}{C_3 - t} - \frac{1}{(C_3 - t)^3}.$$

Ondern cobnagaem ngn $C_1 \rightarrow -C_2$
 $C_2 \rightarrow C_1$

II. Линейные однородные уравнения в частных производных первого порядка

C n 17:

Найти общее решение уравнения и решить задачу Коши с указанным начальным условием (1–100):

M₄.

4. $(x^2 + z^2) \frac{\partial u}{\partial x} + 2(xy - xz^3) \frac{\partial u}{\partial y} + 2xz \frac{\partial u}{\partial z} = 0, u = \frac{y}{z} - \frac{z^2}{2}$ при $x^2 - z^2 = 2$.

$$\begin{cases} \dot{x} = x^2 + z^2 \\ \dot{y} = 2(xy - xz^3) \\ \dot{z} = 2xz \end{cases}$$

$$2(xz^3 - xy)dz + 2xzdy = 0 \quad | : 2x$$

$$(z^3 - y)dz + zdy = 0$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial y}(z^3 - y) &= -1 \\ \frac{\partial}{\partial z}(z) &= 1 \end{aligned} \quad * \quad \Rightarrow \text{Учтено что на } \mu = \mu(z)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial y} [\mu(z^3 - y)] &= -\mu \\ \frac{\partial}{\partial z} [\mu z] &= z \cdot \frac{\partial \mu}{\partial z} + \mu \end{aligned} \quad \Rightarrow \begin{aligned} -\mu &= z \frac{\partial \mu}{\partial z} + \mu \\ \mu &= \frac{1}{z^2} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow (z^3 - y)dz + zdy = 0 \quad | \cdot \frac{1}{z^2} \quad \text{нормаля}$$

$$\left(z - \frac{y}{z^2} \right)dz + \frac{1}{z}dy = 0 \Rightarrow d\left(\frac{1}{2}z^2 + \frac{y}{z}\right) = 0$$

$$\frac{z^2}{2} + \frac{y}{z} = u_1 \quad \text{первый интеграл}$$

$$\begin{cases} u_1 = \frac{z^2}{2} + \frac{y}{2} \\ (x+z)^0 = (x+z)^2 \Rightarrow \frac{d(x+z)}{(x+z)^2} = dt \\ (x-z)^0 = (x-z)^2 \end{cases} \quad -\frac{1}{x+z} = t + C_{2,3} \Rightarrow \frac{1}{x-z} - \frac{1}{x+z} = \underline{\underline{\frac{1}{x^2-z^2}}} = u_2$$

$$\Rightarrow \frac{z}{x^2-z^2} = u_2 \Rightarrow u = F(u_1, u_2) = F\left(\frac{z^2}{2} + \frac{y}{2}, \frac{z}{x^2-z^2}\right)$$

Задача №16: $u = \frac{y}{z} - \frac{z^2}{2}$

$$\begin{cases} x^2 - z^2 = 2 \\ u_1 = \frac{z^2}{2} + \frac{y}{z} \\ u_2 = \frac{z}{x^2-z^2} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} u = u_1 - z^2 \\ z = 2u_2 \end{cases} \Rightarrow u = u_1 - 4u_2^2$$

$$\Rightarrow u = \frac{y}{z} + \frac{z^2}{2} - \frac{4z^2}{(z^2-x^2)^2}$$

4. $u = F\left(\frac{z^2-x^2}{z}, \frac{y}{z} + \frac{z^2}{2}\right), u = \frac{y}{z} + \frac{z^2}{2} - \frac{4z^2}{(z^2-x^2)^2}.$

№16

16. $(z-x+3y)\frac{\partial u}{\partial x} + (z+x-3y)\frac{\partial u}{\partial y} - 2z\frac{\partial u}{\partial z} = 0, u = \frac{4y}{z}$ при $x = 3y$.

$$\begin{cases} \dot{x} = z-x+3y \\ \dot{y} = z+x-3y \\ \dot{z} = -2z \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \dot{x}+\dot{y} = 2z \\ \dot{y} = z+x-3y \\ \dot{z} = -2z \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} (\dot{x}+\dot{y}+z)^0 = 0 \\ \dot{y} = z+x-3y \\ \dot{z} = -2z \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} u_1 = x+y+z \\ \dot{y} = z+x-3y \\ \dot{z} = -2z \end{cases}$$

$$x = u_1 - y - z \Rightarrow \begin{cases} u_1 = x+y+z \\ y = -4y+u_1 \\ \dot{z} = -2z \end{cases}$$

$$\Rightarrow (-4y + u_1)dz + 2zdy = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial y}(-4y + u_1) = -4$$

$$\frac{\partial}{\partial z}(2z) = 2 \quad \rightarrow \text{установка на } \mu = \mu(z)$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \left[\mu(-4y + u_1) \right] = -4\mu$$

$$\frac{\partial}{\partial z} \left[2\mu z \right] = 2z \frac{\partial \mu}{\partial z} + 2\mu \stackrel{!!}{\rightarrow} -4\mu = 2\mu + 2z \frac{\partial \mu}{\partial z}$$

$$-3 \frac{d\mu}{z} = \frac{\partial \mu}{\mu}$$

$$\mu = \frac{1}{z^3}$$

$$\Rightarrow (-4y + u_1)dz + 2zdy = 0 \quad / \cdot \frac{1}{z^3} \quad \text{nonn. gogo}$$

$$\left(\frac{-4y + u_1}{z^3} \right) dz + \frac{2}{z^2} dy = 0$$

$$\frac{\partial u_2}{\partial z} = -\frac{4y + u_1}{z^3} \Rightarrow u_2 = \frac{2y - \frac{u_1}{z^2}}{z^2} + \varphi(y)$$

$$\frac{\partial u_2}{\partial y} = \frac{2}{z^2} = \frac{2}{z^2} + \frac{\partial \varphi}{\partial y} \Rightarrow \varphi = 0$$

$$\Rightarrow u_2 = \frac{4y - u_1}{z^2}$$

$$\Rightarrow u = F(u_1, u_2) = F(x + y + z, \frac{3y - x - z}{z^2})$$

Задача 2

$$\begin{cases} u = \frac{4y}{z} \\ x = 3y \\ u_1 = x + y + z \\ u_2 = \frac{3y - x - z}{2z^2} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} u = \frac{4y}{z} \\ x = 3y \\ u_1 = 4y + z \\ u_2 = \frac{4y - u_1}{2z^2} = -\frac{1}{2z} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} z = -\frac{1}{2u_2} \\ 4y = u_1 - z = u_1 + \frac{1}{2u_2} \\ \Rightarrow u = u_1 + \frac{1}{2u_2} \\ = -2u_1 u_2 - 1 \end{cases}$$

$$\Rightarrow u = \frac{(x-y+z)(x+z-3y)}{z^2} - 1$$

16. $u = F[x+y+z, \frac{z^2}{x-3y+z}], u = \frac{(x+y+z)(x-3y+z)}{z^2} - 1.$

Однако обнаружим $u_2 \rightarrow -\frac{1}{2u_2}$
при замене

№45

45. $xz \operatorname{tg} z \frac{\partial u}{\partial x} + (y-x) \frac{\partial u}{\partial y} - z \frac{\partial u}{\partial z} = 0, u = \cos z - \sin z$ при $x = yz$
 $\left(0 < z < \frac{\pi}{2}\right).$

$$\begin{cases} x = xz \operatorname{tg} z \\ y = y - x \\ z = -z \end{cases}$$

$$xz \operatorname{tg} z \cdot dz + z \cdot dx = 0 \quad / \cdot \frac{1}{x^2 z} \cdot \cos z$$

$$\frac{\sin z dz}{x} + \frac{\cos z}{x^2} dx = 0$$

$$d\left(-\frac{\cos z}{x}\right) = 0 \Rightarrow u_1 = \frac{\cos z}{x} \Leftrightarrow x = \frac{\cos z}{u_1}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} u_1 = \frac{\cos z}{x} \\ y = y - \frac{\cos z}{u_1} \\ z = -z \end{cases}$$

$$\left(y - \frac{\cos z}{u_1}\right) dz + z dy = 0$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial y} \left(y - \frac{\cos z}{u_1}\right) &= 1 \\ \frac{\partial}{\partial z} (1) &= 1 \quad // \quad \rightarrow \text{равнение} \end{aligned}$$

$$d\left(yz - \frac{\sin z}{u_1}\right) = 0$$

$$\Rightarrow u_2 = yz - \frac{\sin z}{u_1} = yz - x \operatorname{tg} z$$

$$\Rightarrow u = F(u_1, u_2) = F\left(\frac{\cos z}{x}, yz - x \operatorname{tg} z\right)$$

Задача Коши:

$$\begin{cases} u = \cos z - \sin z \\ x = yz \\ u_1 = \frac{\cos z}{x} \\ u_2 = yz - x \operatorname{tg} z \end{cases} \Rightarrow u_2 = x(1 - \operatorname{tg} z) \Rightarrow u = u_1 u_2$$

$u = \frac{y^2}{x} \cos z - \sin z$

45. $u = F\left(\frac{x}{\cos z}, yz - x \operatorname{tg} z\right), u = \frac{yz}{x} \cdot \cos z - \sin z.$

$u_1 \rightarrow \frac{1}{u_1}$

№ 79

79. $2xy \frac{\partial u}{\partial x} + (1 - y^2 - 2xz) \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{y}{x} \frac{\partial u}{\partial z} = 0, u = \frac{1}{2} - y^2$ при $y^2 + xz = 1.$

$$\begin{cases} x = 2xy \\ y = 1 - y^2 - 2xz \Rightarrow 2xy dz + \frac{y}{x} dx = 0 \\ z = -y/x \end{cases} \quad 2x dz + \frac{1}{x} dx = 0$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x}(2x) &= 2 \\ \frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{1}{x}\right) &= 0 \Rightarrow \text{Умн. на } \mu = \mu(x) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} \left[2\mu x \right] &= 2x \frac{\partial \mu}{\partial x} + 2\mu \quad \Rightarrow 2x \frac{\partial \mu}{\partial x} + 2\mu = 0 \\ \frac{\partial}{\partial z} \left[\frac{\mu}{x} \right] &= 0 \quad " \quad \Rightarrow \frac{\partial \mu}{\mu} = -\frac{\partial x}{x} \Rightarrow \mu = \frac{1}{x} \end{aligned}$$

$$2x dz + \frac{1}{x} dx = 0 \quad \left| \frac{1}{x} \right. \text{ nonn. gupo}$$

$$\begin{aligned} 2dz + \frac{1}{x^2} dx &= 0 \Rightarrow d\left(2z - \frac{1}{x}\right) = 0 \\ \Rightarrow u_1 &= 2z - \frac{1}{x} \Leftrightarrow z = \frac{1}{2}\left(u_1 + \frac{1}{x}\right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \begin{cases} u_1 = 2z - \frac{1}{x} \\ x = 2xy \\ y = 1 - y^2 - x\left(u_1 + \frac{1}{x}\right) \end{cases} &\Rightarrow 2xy dy + (y^2 + u_1 x) dx = 0 \\ \frac{\partial}{\partial y}(2xy) = 2y &= \\ \frac{\partial}{\partial x}(y^2 + u_1 x) = 2y &= \Rightarrow \text{nonn. gupo} \end{aligned}$$

$$d\left(xy^2 + \frac{4x^2}{2}\right) = 0 \Rightarrow u_2 = xy^2 + \frac{4x^2}{2} = xy^2 + \frac{x^2}{2}(2z - \frac{1}{x}) \\ = xy^2 + x^2 z - \frac{x}{2}$$

$$\Rightarrow u = f\left(2z - \frac{1}{x}, xy^2 + x^2 z - \frac{x}{2}\right)$$

Zagara konu:

$$xy^2 + x\left(\frac{x^{u_1}+1}{2}\right) - \frac{x}{2}$$

$$\begin{cases} u = \frac{1}{2} - y^2 \\ y^2 + xz = 1 \\ u_1 = 2z - \frac{1}{x} \\ u_2 = xy^2 + x^2 z - \frac{x}{2} \end{cases}$$

$$\begin{cases} y^2 + xz - \frac{1}{2} = \frac{1}{2} - 1 \cdot x \\ u = \frac{1}{2} - y^2 \\ \frac{u_1 x}{2} = xz - \frac{1}{2} \\ u_2 = xy^2 + x^2 z - \frac{x}{2} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} u_2 = \frac{x}{2} \\ u = \frac{1}{2} - y^2 = xz - \frac{1}{2} \\ \frac{u_1 x}{2} = xz - \frac{1}{2} = u \end{cases} \\ \Rightarrow u = u_1 \cdot u_2$$

$$\Rightarrow u = u_1 u_2 = \left(2z - \frac{1}{x}\right)\left(xy^2 + x^2 z - \frac{x}{2}\right) \\ u = (2xz - 1)\left(y^2 + xz - \frac{1}{2}\right)$$

$$79. u = F\left(\frac{1}{x} - 2z, xy^2 - \frac{x}{2} + x^2 z\right), u = (2xz - 1)\left(y^2 - \frac{1}{2} + xz\right).$$

$$\begin{matrix} \uparrow \\ u_1 \rightarrow -u_1 \end{matrix}$$

№ 85

$$85. (y-x)\frac{\partial u}{\partial x} + (x+y)\frac{\partial u}{\partial y} + 2yz^2\frac{\partial u}{\partial z} = 0, u = x^2 z \text{ при } x+y=0.$$

$$\begin{cases} x = y - x \\ y = x + y \\ z = 2y^2 \end{cases} \quad (x-y)dx + (x+y)dy = 0 \\ \frac{1}{xy}(x+y) = 1 \quad \Rightarrow \text{nonn gauge} \\ \frac{1}{xy}(x-y) = 1 \\ \Rightarrow d\left(\frac{1}{2}x^2 + xy - \frac{1}{2}y^2\right) = 0 \Rightarrow x^2 + 2xy - y^2 = u,$$

$$\begin{cases} u_1 = x^2 + 2xy - y^2 \\ (x+y)' = 2y \\ z = 2y z^2 \end{cases}$$

$$2yz^2 \cdot d(x+y) - 2y dz = 0 \quad | \cdot \frac{1}{2y \cdot z^2}$$

$$d(x+y) - \frac{1}{z^2} \cdot dz = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial z}(1) = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial(x+y)}\left(-\frac{1}{z^2}\right) = 0 \quad \Rightarrow \text{нормаль гао}$$

$$\Rightarrow d\left(x+y + \frac{1}{z}\right) = 0 \Rightarrow u_2 = x+y + \frac{1}{z}$$

$$\Rightarrow u = f\left(x^2 + 2xy - y^2, x+y + \frac{1}{z}\right)$$

Задача 1:

$$\begin{cases} u = x^2 z \\ x+y=0 \\ u_1 = x^2 + 2xy - y^2 \\ u_2 = x+y + \frac{1}{z} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} u = x^2 z \\ x+y=0 \\ u_1 = -2y^2 \\ u_2 = \frac{1}{z} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} y = -x \\ x^2 = -\frac{u_1}{2} \\ z = \frac{1}{u_2} \\ u = -\frac{u_1}{2u_2} \end{cases}$$

$$\Rightarrow u = -\frac{1}{2} \frac{(x^2 + 2xy - y^2)}{\left(x+y+\frac{1}{z}\right)}$$

$$85. u = F\left(x^2 + 2xy - y^2, x+y + \frac{1}{z}\right), u = \frac{y^2 - x^2 - 2xy}{2(x+y + \frac{1}{z})}.$$

√TЧ

4. Найти общее решение уравнения $2\frac{\partial u}{\partial x} + 3\frac{\partial u}{\partial y} = 0$. Затем в пунктах а), б) и в) решить соответствующую задачу Коши. Объяснить получившиеся результаты:

- а) $u = 10$ при $3x - 2y = 5$;
- б) $u = e^x$ при $3x - 2y = 5$;
- в) $u = \sin y$ при $x = 0$.

$$2\frac{\partial u}{\partial x} + 3\frac{\partial u}{\partial y} = 0$$

$$\begin{cases} x = 2 \\ y = 3 \end{cases} \Rightarrow 3dx - 2dy = 0$$

$$d(3x - 2y) = 0$$

$$u_1 = 3x - 2y$$

$$\Rightarrow u = f(3x - 2y)$$

$$\begin{cases} u = 10 \\ 3x - 2y = 5 \\ u_1 = 3x - 2y \end{cases} \Rightarrow u(x, y) = 10$$

$$\delta) \begin{cases} u = e^x \\ 3x - 2y = 5 \\ u_1 = 3x - 2y \end{cases} \quad u = f(u_1) = \text{const}$$

бесолю $3x - 2y = 5$
последним

$$\begin{cases} (1, -1) \\ (2, \frac{1}{2}) \end{cases} \Rightarrow u = e^x \Rightarrow u = \text{const}$$

бесолю $3x - 2y = 5$

Решение Коши не существует.

$$b) \begin{cases} u = \sin y \\ x = 0 \\ u_1 = 3x - 2y \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} y = -\frac{u_1}{2} \\ u = \sin y \end{cases} \Rightarrow u = \sin\left(-\frac{u_1}{2}\right)$$

$$u = \sin\left(\frac{2y - 3x}{2}\right)$$

Решить простейшую вариационную задачу (1–90):

III Вариационное исчисление

В пространстве непрерывных на отрезке $[a, b]$ функций $C[a, b]$ (k раз непрерывно дифференцируемых на отрезке $[a, b]$ функций $C^k[a, b]$) с нормой $\|y(x)\|_{C[a, b]} = \max_{x \in [a, b]} |y(x)|$ ($\|y(x)\|_{C^k[a, b]} = \max_{x \in [a, b]} |y(x)| + \sum_{i=1}^k \max_{x \in [a, b]} |y^{(i)}(x)|$) рассмотрим функционал $J[y(x)]$.

Например, определенный интеграл

$$J(y) = \int_a^b y(x) dx,$$

на множестве функций

$$M = \{y \in C^k[a, b] \mid y(a) = A, y(b) = B\} -$$

функционал заданный на множестве M в пространстве $C^k[a, b]$.

В пространствах $C[a, b]$ и $C^k[a, b]$ введем расстояние между 2 элементами

$$\varrho_{C[a, b]}(y_1, y_2) = \max_{x \in [a, b]} |y_1(x) - y_2(x)|,$$

$$\varrho_{C^k[a, b]}(y_1, y_2) = \max_{x \in [a, b]} |y_1(x) - y_2(x)| + \sum_{i=1}^k \max_{x \in [a, b]} |y_1^{(i)}(x) - y_2^{(i)}(x)|.$$

Пусть $F(x, y, p)$ – заданная непрерывно дифференцируемая функция на $[a, b] \times \mathbb{R}^2$.

$$J(y) = \int_a^b F[x, y(x), y'(x)] dx, \quad (1)$$

на множестве $C^1[a, b]$ таких функций, что

$$y(a) = A, \quad y(b) = B. \quad (2)$$

Будем называть функции y , удовлетворяющие условие (2), допустимыми.

Определение 1 $\tilde{y}(x)$ дает слабый локальный минимум функционала (1) если $\exists \varepsilon > 0$ такое что $\forall y(x) \in M : \varrho_{C^1[a, b]}(\tilde{y}(x), y(x)) < \varepsilon$ выполняется неравенство $J(y) \geq J(\tilde{y})$.

Аналогично определяется слабый локальный максимум.

Определение 2 Задача отыскания слабого локального экстремума функционала (1) называется простейшей задачей вариационного исчисления.

Рассмотрим семейство функций $y(x, \alpha) = y(x) + \alpha\eta(x)$, где $\eta(x) \in C^1[a, b]$, $\eta(a) = \eta(b) = 0$ (такие функции называются допустимым приращением/вариацией). Отметим, что любая функция данного семейства является допустимой. При фиксированных $y(x)$ и $\eta(x)$ рассмотрим интеграл

$$\Phi(\alpha) = J(y + \alpha\eta) = \int_a^b F[x, y(x) + \alpha\eta(x), y'(x) + \alpha\eta'(x)] dx.$$

$$\Phi'(0) = \int_a^b \left(\frac{\partial F[x, y(x), y'(x)]}{\partial y} \eta(x) + \frac{\partial F[x, y(x), y'(x)]}{\partial y'} \eta'(x) \right) dx.$$

Определение 3 $\frac{d}{d\alpha} J[y(x) + \alpha\eta(x)]|_{\alpha=0}$ – первая вариация функционала $J[y]$, обозначается $\delta J[y, \eta(x)]$.

$$\delta J[y, \eta(x)] = \int_a^b \left(\frac{\partial F[x, y(x), y'(x)]}{\partial y} \eta(x) + \frac{\partial F[x, y(x), y'(x)]}{\partial y'} \eta'(x) \right) dx.$$

Теорема 1 Пусть $F(x, y, p)$ – дважды непрерывно дифференцируемая функция на $[a, b] \times \mathbb{R}^2$. Если дважды непрерывная функция $\tilde{y}(x)$ $\delta J[y, \eta(x)]$ является решением простейшей вариационной задачи, то она удовлетворяет условию Эйлера:

$$\frac{\partial F}{\partial y} - \frac{d}{dx} \left(\frac{\partial F}{\partial y'} \right) = 0$$

Определение 4 Любое решение уравнения Эйлера называется экстремальной функционала. Всякая экстремаль, которая является допустимой функцией, называется допустимой экстремальной.

$$\int_a^b \eta^2(x) dx \leq \frac{(b-a)^2}{4} \int_a^b \eta'^2(x) dx.$$

- План:
- 1) Найти первое ур-е линеаря $\hat{y}(x, c_1, c_2)$
 - 2) Найти c_1, c_2 из нач. усн.
 - 3) Проверка

Логичные способы:

- 1) $F = f(x, y)$ не линейное, м.к. \hat{y} не линейно зависим от нач. усн.
- 2) $F = P(x, y) + Q(x, y)y'$, $P, Q \in \text{линейного}$
Нем.л.м.н. для $Pdx + Qdy = 0$ не линейно
- 3) $f = F(x, y')$ м.к. const

$$\frac{d}{dx} \frac{\partial F(x, y')}{\partial y'} = 0, \text{ м.к. } \frac{\partial F(x, y')}{\partial y'} = c$$

$$4) f = F(y, y')$$

$$\frac{\partial F}{\partial y} - \frac{\partial^2 F}{\partial y' \partial y} y' - \frac{\partial^2 F}{\partial y'^2} y'' = 0 \quad / \cdot y' \Rightarrow \frac{d}{dx} \left(F - y' \frac{\partial F}{\partial y'} \right) = 0 \\ f - y' \frac{\partial F}{\partial y'} = C$$

Дано в решении будем использовать
специальный факт:

$$y[y + t\delta y] = y[y] + \delta y \cdot t + \delta^2 y \cdot \frac{t^2}{2} + O(t^2)$$

где допустимой вариации δy : $\delta^2 y = 0$

если неправильный предположение о F не больше 2
 $\Rightarrow O(t^2) = 0$

$$\Rightarrow \delta y = \delta^2 y \cdot \frac{t^2}{2} \Rightarrow \underline{\text{здесь } \delta y \text{ зависит только от } \delta^2 y}$$

$$\delta^2 y = \int_a^b \left[\frac{\partial^2 F}{\partial y^2} \delta y^2 + 2 \frac{\partial^2 F}{\partial y \partial y'} \delta y \delta y' + \frac{\partial^2 F}{\partial y'^2} \delta y'^2 \right] dx$$

C n 19:

N12

12. $J(y) = \int_1^2 \left[x(y')^2 + \frac{y^2}{x} + \frac{2y \ln x}{x} \right] dx, y(1) = 0, y(2) = 1 - \ln 2.$

$$F = xy'^2 + \frac{y^2}{x} + \frac{2y \ln x}{x}$$

1) y.p. Fünpa: $\frac{\partial F}{\partial y} - \frac{d}{dx} \frac{\partial F}{\partial y'} = 0 \Leftrightarrow \left(\frac{2y}{x} + \frac{2 \ln x}{x} \right) - \frac{d}{dx} (2xy') = 0$

$$\frac{2y}{x} + \frac{2 \ln x}{x} - 2y' - 2xy'' = 0$$

$$xy'' + y' - \frac{y}{x} - \frac{\ln x}{x} = 0$$

Ognop: $xy'' + y' - \frac{y}{x} = 0 \Rightarrow$

z. p. $y_0 = \frac{1}{x}$,

$\Rightarrow W[y_0, y] = C_1 \exp \left[- \int \frac{1}{x} dx \right]$

$$\frac{1}{x} y' + \frac{1}{x^2} y = C_1 \exp \left[- \int \frac{1}{x} dx \right] = C_1 \frac{1}{x} \quad | : \frac{1}{x^2}$$

$$\left(\frac{y}{x} \right)' = (xy)' = C_1 x \Rightarrow xy = C_1 x^2 + C_2$$

$$y = C_1 x + C_2 \frac{1}{x}$$

$$xy'' + y' - \frac{y}{x} = \frac{\ln x}{x}$$

Zusammen, zmo $y_0 = -\ln x$ pcon

$$\Rightarrow y = C_1 x + C_2 \frac{1}{x} - \ln x$$

$$\dot{y} = C_1 x + C_2 \cdot \frac{1}{x} - \ln x$$

$$2) \begin{cases} y(1)=0 \\ y(2)=1-\ln 2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} C_1 + C_3 = 0 \\ 2C_1 + \frac{1}{2}C_3 - \ln 2 = 1 - \ln 2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} C_1 + C_3 = 0 \\ 2C_1 + \frac{1}{2}C_3 = 1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} C_3 = -\frac{2}{3} \\ C_1 = \frac{2}{3} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \hat{y} = \frac{2}{3}\left(x - \frac{1}{x}\right) - \ln x \text{ - гипотетическая экспериментальная}$$

$$3) f^2 y = \int_1^x \left[\frac{2}{x} \delta y^2 + 2x \delta y'^2 \right] dx \Rightarrow \Delta y \geq 0 \Rightarrow \text{абс. мин}$$

$$12. \hat{y}(x) = \frac{2}{3} \left(x - \frac{1}{x} \right) - \ln x, \text{абс. мин.}$$

N33

$$33. J(y) = \int_0^{1/2} \left[\frac{(y')^2}{x^2 - 1} - \frac{2y^2}{(x^2 - 1)^2} \right] dx, y(0) = 1, y\left(\frac{1}{2}\right) = 2.$$

$$F = \frac{y'^2}{x^2 - 1} - \frac{2y^2}{(x^2 - 1)^2}$$

1) Ур. Энгера:

$$\frac{\partial F}{\partial y} - \frac{d}{dx} \frac{\partial F}{\partial y'} = 0 \quad \left[-\frac{4y}{(x^2 - 1)^2} \right] - \frac{d}{dx} \left[\frac{2y'}{(x^2 - 1)} \right] = 0$$

$$\frac{-4y}{(x^2 - 1)^2} - \frac{2y''(x^2 - 1) - 4y'x}{(x^2 - 1)^2} = 0$$

$$-4y - 2y''(x^2 - 1) + 4y'x = 0$$

$$(x^2 - 1)y'' - 2xy' + 2y = 0$$

$$(x^2 - 1)y'' - 2xy' + 2y = 0 \quad \text{замена: } y = zx \Rightarrow y' = z'x + z$$

$$y'' = z''x + 2z'$$

$$(x^2 - 1)(z''x + 2z') - 2x(z'x + z) + 2zx = 0$$

$$z''(x^3 - x) + (2(x^2 - 1) - 2x^2)z' - \cancel{2xz + 2xz} = 0$$

$$z''(x^3-x) - 2z' = 0$$

нусмб $t = z'$, $t' = z''$ $t'(x^3-x) - 2t = 0 \Rightarrow \frac{dt}{t} = \frac{2dx}{x^3-x}$

$$\frac{2}{x^3-x} = \frac{2}{x(x-1)(x+1)} = \frac{-2}{x} + \frac{1}{x-1} + \frac{1}{x+1}$$

$$\Rightarrow \int \frac{2dx}{x^3-x} = \int \left[-\frac{2}{x} + \frac{1}{x-1} + \frac{1}{x+1} \right] dx$$

$$\Rightarrow \ln|t| = \ln \left| \frac{(x-1)(x+1)}{x^2} \right| + C_1 \Rightarrow t = \frac{x^2-1}{x^2} e^{C_1}$$

$$\Rightarrow z = \int t dx = C_1 \int 1 - \frac{1}{x^2} dx = C_1 \left(x + \frac{1}{x} \right) + C_2$$

$$y = xz \Rightarrow y = C_1(x^2+1) + C_2 x$$

$$\begin{cases} y(0) = 1 \\ y(\frac{1}{2}) = 2 \\ y = C_1(x^2+1) + C_2 x \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} C_1 = 1 \\ \frac{5}{4}C_1 + \frac{1}{2}C_2 = 2 \\ C_2 = \frac{3}{2} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} C_1 = 1 \\ C_2 = \frac{3}{2} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{y = x^2+1+\frac{3}{2}x}} = \text{гиперболическое уравнение}$$

$$3) \delta^2 y = \int_0^{1/2} \left[-\frac{4}{(x^2-1)^2} \delta y^2 + \frac{2}{x^2-1} \delta y'^2 \right] dx \Rightarrow \delta y \leq 0$$

$\Rightarrow \text{абс. макс}$

33. $\hat{y}(x) = x^2 + \frac{3x}{2} + 1$, абс. макс.

N75

75. $J(y) = \int_{1/2}^2 [4xyy' - x^2(y')^2 + 4x^2y] dx, y\left(\frac{1}{2}\right) = y(2) = \frac{1}{2}$.

$$F = 4xyy' - x^2y'^2 + 4x^2y$$

1) y_p ~~зундера:~~ $\Rightarrow \left[4xy' + 4x^2 \right] - \frac{d}{dx} \left[4xy - 2x^2y' \right] = 0$
 $\frac{\partial F}{\partial y} - \frac{d}{dx} \frac{\partial F}{\partial y'} = 0$
 $4xy' + 4x^2 - 4y - \cancel{4xy'} + \cancel{4xy'} + 2x^2y'' = 0$

$$2xy' + 2x^2 - 2y + x^2y'' = 0$$

$$x^2y'' + 2xy' - 2y = -2x^2$$

$$\Rightarrow x^2y'' + 2xy' - 2y = 0$$

$$y_0 = x$$

$$xy' - y = C \exp \left[-2 \int \frac{1}{x} dx \right] = C \frac{1}{x^2} \quad | : x^2$$

$$\left(\frac{y}{x} \right)' = C_1 \frac{1}{x^4} \Rightarrow \frac{y}{x} = C_1 \frac{1}{x^3} + C_2 \Rightarrow y = C_1 \frac{1}{x^2} + C_2 x$$

MBR: $\begin{cases} C_1' \frac{1}{x^3} + C_2' x = 0 \\ C_1' \left(-\frac{2}{x^3} \right) + C_2' = -2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} C_1' = \frac{2}{3} x^3 \\ C_2' = -\frac{2}{3} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} C_1 = \frac{x^4}{6} + C_3 \\ C_2 = -\frac{2x}{3} + C_4 \end{cases}$

$$\Rightarrow y = \left[\frac{x^4}{6} + C_3 \right] \frac{1}{x^2} + \left[-\frac{2}{3}x + C_4 \right] x$$

$$= C_3 \frac{1}{x^2} + C_4 x - \frac{x^2}{2}$$

$$2) \begin{cases} y\left(\frac{1}{2}\right) = \frac{1}{2} \\ y(2) = \frac{1}{2} \\ y = C_3 \frac{1}{x^2} + C_4 x - \frac{x^2}{2} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 4C_3 + \frac{1}{2}C_4 - \frac{1}{8} = \frac{1}{2} \\ \frac{1}{4}C_3 + 2C_4 - 2 = \frac{1}{2} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} C_3 = 0 \\ C_4 = \frac{5}{4} \end{cases} \Rightarrow \hat{y} = \frac{5}{4}x - \frac{x^2}{2}$$

допустимая
экстремаль

$$3) 8^2 \bar{y} = \int_{1/2}^2 [8x \delta y \cdot \delta y' - 2x^2 \delta y'^2] dx$$

$$I_1 = \int_{1/2}^2 [8x \delta y \cdot \delta y'] dx = 8x \delta y \Big|_{1/2}^2 - \int_{1/2}^2 [8x \delta y \delta y' + 8 \delta y'^2] dx$$

$$\Rightarrow 2I_1 = 2 \int_{1/2}^2 [-4 \delta y^2] dx \rightarrow$$

$$\Rightarrow \delta^2 \bar{y} = \int_0^2 [-4 \delta y^2 - 2x^2 \delta y'^2] dx \rightarrow \Delta \bar{y} < 0 \Rightarrow \text{абс. макс.}$$

75. $\hat{y}(x) = \frac{5x}{4} - \frac{x^2}{2}$, абс. макс.

№102

В задачах (102–105) показать, что допустимая экстремаль не дает экстремум функционала:

$$102. J(y) = \int_0^\pi \left[(y')^2 - \frac{16}{9} y^2 + 2y \sin x \right] dx, y(0) = 0, y(\pi) = -\frac{\sqrt{3}}{2}.$$

$$1) F = y'^2 - \frac{16}{9} y^2 + 2y \sin x$$

$$\frac{\delta F}{\delta y} - \frac{d}{dx} \frac{\delta F}{\delta y'} = 0 \Rightarrow \left[-\frac{32}{9} y + 2 \sin x \right] - \frac{d}{dx} [2y'] = 0$$

$$-\frac{32}{9} y + 2 \sin x - 2y'' = 0$$

$$y'' + \left(\frac{4}{3}\right)^2 y = \sin x$$

$$\text{Ogn: } y'' + \left(\frac{4}{3}\right)^2 y = 0$$

$$y = C_1 \cos\left(\frac{4}{3}x\right) + C_2 \sin\left(\frac{4}{3}x\right)$$

$$y_0 = \frac{9}{7} \sin x - \text{r-пем}$$

$$\Rightarrow y = C_1 \cos\left(\frac{4}{3}x\right) + C_2 \sin\left(\frac{4}{3}x\right)$$

$$2) \begin{cases} y(0) = 0 \\ y(\pi) = -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} C_3 = 0 \\ C_3 \left(-\frac{1}{2}\right) + C_4 \left(-\frac{\sqrt{3}}{2}\right) = -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{cases}$$

$$y = C_3 \cos\left(\frac{4}{3}x\right) + C_4 \sin\left(\frac{4}{3}x\right) + \frac{9}{7} \sin x$$

$$\Rightarrow \begin{cases} C_3 = 0 \\ C_4 = 1 \end{cases}$$

$$\Rightarrow y = \sin\left(\frac{4}{3}x\right) + \frac{9}{7} \sin x \quad - \text{допустимая экстремаль}$$

$$3) \delta^2 y = \int_0^\pi \left[-\frac{32}{9} \delta y^2 + 2 \delta y' \right] dx$$

$$f_y = \sin ax, a \in \mathbb{Z} \Rightarrow \int_0^{\pi} \left[a^2 \cos^2 ax - \frac{16}{9} \sin^2 ax \right] dx$$

$$\Rightarrow \int_0^{\pi} \left[a^2 \frac{1 + \cos 2ax}{2} - \frac{16}{9} \frac{1 - \cos 2x}{2} \right] dx \leq$$

$$= \int_0^{\pi} \left[\frac{a^2}{2} - \frac{8}{9} \right] dx \quad \text{hpr } a = 1 \Rightarrow \Delta Y[\hat{y}] \geq 0$$

$$a = 2 \Rightarrow \Delta Y[\hat{y}] > 0$$

\Rightarrow ne abc okup
B1

Задача со свободным концом

№ 20.1

Рассмотрим функционал

$$J(y) = \int_a^b F[x, y(x), y'(x)] dx,$$

на множестве $C^1[a, b]$ таких функций, что $y(a) = A$. Решаем задачу поиска экстремума этого функционала.

Предложение 1 Пусть $F[x, y, p]$ – дважды непрерывно дифференцируемая функция. Если дважды непрерывно дифференцируемая функция $\tilde{y}(x)$ является решением задачи со свободным концом, то она удовлетворяет условию Эйлера

$$\frac{\partial F}{\partial y} - \frac{d}{dx} \left(\frac{\partial F}{\partial y'} \right) = 0$$

и граничному условию

$$\frac{\partial F[x, y, y']}{\partial y'} \Big|_{x=b} = 0.$$

или $y(b) = B$

$$\frac{\partial F}{\partial y'} \Big|_{x=a} = 0$$

Решить задачу со свободным концом (1–10):

н2:

2. $J(y) = \int_0^1 [2y + 6y' + (y')^2] dx, y(0) = 0.$

$$1) F = 2y + 6y' + y'^2 \Rightarrow [2] - \frac{d}{dx} [6 + 2y'] = 0$$

$$2 - 2y'' = 0 \Rightarrow y'' = 1 \Rightarrow y = \frac{x^2}{2} + C_1 x + C_2$$

$$2) \begin{cases} y = \frac{x^2}{2} + C_1 x + C_2 \\ y(0) = 0 \end{cases} \quad [6 + 2y'] \Big|_{x=1} = [6 + 2x + 2C_1] \Big|_{x=1} = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial y'} [6y' + y'^2] \Big|_{x=1} = \frac{\partial}{\partial y'} [6 + 2x + 2C_1] \Big|_{x=1} = 0$$

$$\Rightarrow \begin{cases} C_1 = -4 \\ C_2 = 0 \end{cases} \Rightarrow \hat{y} = \frac{x^2}{2} - 4x$$

допустимый экспр.

3) $\delta^2 y = \int_0^1 [2\delta y'] dx \Rightarrow \Delta y \geq 0$ абр. мин

2. $\hat{y} = \frac{x^2}{2} - 4x$, абр. мин.

нг

9. $J(y) = \int_1^3 [8yy' \ln x - x(y')^2 + 6xy'] dx, y(3) = 15.$

$F = 8yy' \ln x - x(y')^2 + 6xy' \Rightarrow [8y' \ln x] - \frac{d}{dx} [8y \ln x - 2xy' + 6x] = 0$

$8y' \ln x - 8y' \ln x - 8y \frac{1}{x} + 2y' + 2xy'' - 6 = 0$

$y'' + \frac{1}{x}y' - \frac{4}{x^2}y = 3$

$ogn - yp : x^2y'' + xy' - 4y = 0$

$$y'_x = y'_t \cdot t'_x$$

$$y''_{xx} = (y'_x)'_x = (y'_t \cdot t'_x)'_x = y''_{tt} \cdot t'^2_x + y'_t \cdot t''_{xx}$$

Согласно замене $x = e^t \Rightarrow t = \ln x$

$$\Rightarrow y'_x = y'_t \cdot \frac{1}{x}, y''_{xx} = y''_{tt} \cdot \frac{1}{x^2} + y'_t \cdot \left(-\frac{1}{x^2}\right)$$

$$\Rightarrow x^2 \cdot \left[y''_{tt} \cdot \frac{1}{x^2} + y'_t \left(-\frac{1}{x^2}\right) \right] + x \cdot y'_t \cdot \frac{1}{x} - 4y = 0$$

$$\Rightarrow y''_{tt} - 4y = 0 \Rightarrow y = C_1 e^{2t} + C_2 e^{-2t}$$

$$y = C_1 x^2 + C_2 x^{-2}$$

$$y_0 = -x - 2, \text{поеем реш}$$

$$\Rightarrow y = C_1 x^2 + C_2 x^{-2} - x \text{ поем}$$

$$2) \begin{cases} y = C_1 x^2 + C_2 x^{-2} - x \\ y(3) = 15 \\ \left[8y \ln x - 2x y' + 6x \right] \Big|_{x=1} = 0 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} 9C_1 + \frac{1}{9}C_2 - 3 = 15 \\ -2(2C_1 - 2C_2 - 1) + 6 = 0 \end{cases}$$

$$y' = 2C_1 x - 2 \frac{C_2}{x^3} - 1$$

$$y'(1) = 2C_1 - C_2 - 1$$

$$\begin{cases} C_1 = 2 \\ C_2 = 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \hat{y} = 2x^2 - x = \text{gorn. extrem.}$$

$$3) \delta^2 y = \int_1^3 [16 \ln x \delta y \delta y' - 2x \delta y'^2] dx$$

$$I_1 = \int_1^3 [16 \ln x \delta y \delta y'] dx = 16 \ln x \delta y^2 \Big|_1^3 - \int_1^3 \left[\frac{16}{x} \delta y^2 + 16 \ln x \delta y \delta y' \right] dx$$

$$2I_1 = 2 \int_1^3 \left[-\frac{8}{x} \delta y^2 \right] dx$$

$$\delta^2 y = \int_1^3 \left[-\frac{8}{x} \delta y^2 - 2x \delta y'^2 \right] dx \Rightarrow \Delta y \leq 0 \quad \text{абс. максимум}$$

9. $\hat{y} = 2x^2 - x$, абс. максимум.

Задача без ограничений

Рассмотрим функционал

$$J(y) = \int_a^b F[x, y(x), y'(x)] dx,$$

на множестве $C^1[a, b]$. Решаем задачу поиска экстремума этого функционала.

Предложение 2 Пусть $F[x, y, p]$ – дважды непрерывно дифференцируемая функция. Если дважды непрерывно дифференцируемая функция $\tilde{y}(x)$ является решением задачи со свободным концом, то она удовлетворяет условию Эйлера

$$\frac{\partial F}{\partial y} - \frac{d}{dx} \left(\frac{\partial F}{\partial y'} \right) = 0$$

и граничным условиям

$$\frac{\partial F[x, y, y']}{\partial y'} \Big|_{x=a} = \frac{\partial F[x, y, y']}{\partial y'} \Big|_{x=b} = 0.$$

Решить задачу без ограничений (11–16):

№14

14. $J(y) = \int_0^1 [(y')^2 + y^2 - 4e^x y - 8xe^x y'] dx.$

$$\begin{aligned} 1) \quad F &= y'^2 + y^2 - 4e^x y - 8xe^x y' \Rightarrow [2y - 4e^x] - \frac{d}{dx}[2y' - 8xe^x] = 0 \\ &2y - 4e^x - 2y'' + 8xe^x + 8e^x = 0 \\ &y'' - y = 4xe^x + 2e^x \end{aligned}$$

$$\text{ogn: } y''_0 - y'_0 = 0 \Rightarrow y_0 = C_1 e^x + C_2 e^{-x}$$

$$y_1: y'' - y = 2e^x \Rightarrow y_1 = xe^x$$

$$y_2: y'' - y = 4xe^x$$

$$y_2 = (x^2 + dx + \beta) e^x \Rightarrow$$

$$y'_2 = (x^2 + (d+2)x + (\beta+d)) e^x, \quad y''_2 = (x^2 + (d+4)x + (\beta+2d+2)) e^x$$

$$(x^2 + (d+4)x + (\beta+2d+2)) e^x - (x^2 + dx + \beta) e^x = 4xe^x$$

$$4x + (2d+2) = 4x \Rightarrow \begin{cases} \beta \in \mathbb{R} \Rightarrow \beta = 0 \\ d = -1 \end{cases}$$

$$\Rightarrow y_2 = (x^2 - x)e^x$$

$$\Rightarrow y = C_1 e^x + C_2 e^{-x} + x^2 e^x$$

$$2) \quad y = C_1 e^x + C_2 e^{-x} + x^2 e^x$$

$$\left. \begin{array}{l} [2y' - 8xe^x] \\ [2y' - 8xe^x] \end{array} \right|_{\substack{x=1 \\ x=0}} = 0 \Rightarrow \begin{array}{l} e(C_1 + 3) - C_2 \frac{1}{e} = 4e \\ C_1 - C_2 = 0 \end{array} \Rightarrow \begin{array}{l} C_1 = \frac{e^2}{e^2 - 1} \\ C_2 = \frac{e^2}{e^2 - 1} \end{array}$$

$$y' = e^x (C_1 + x^2 + 2x) - C_2 e^{-x}$$

$$y'(0) = C_1 - C_2$$

$$y'(1) = e(C_1 + 3) - C_2 \frac{1}{e}$$

$$\Rightarrow y(x) = \frac{e^2}{e^2 - 1} (e^x + e^{-x}) + x^2 e^x$$

$$\hat{y} = \frac{e \operatorname{ch} x}{\operatorname{sh} e} + x^2 e^x$$

$$3) \delta^2 y = \int_0^1 [2\delta y^2 + 2\delta y'^2] dx \Rightarrow \Delta y \geq 0 \Rightarrow \text{abs. min}$$

z. 14. $\hat{y} = \frac{e \cdot \operatorname{ch} x}{\operatorname{sh} e} + x^2 e^x$, abs. min.

Функционалы, зависящие от 2 функций

Рассмотрим функционал

$$J[y_1, y_2] = \int_a^b F[x, y_1, y'_1, y_2, y'_2] dx.$$

на множестве $C^1[a, b] \times C^1[a, b]$ таких функций, что $y_1(a) = A_1, y_1(b) = B_1, y_2(a) = A_2, y_2(b) = B_2$. Решаем задачу поиска экстремума этого функционала.

Предложение 3 Пусть $F[x, y, p]$ – дважды непрерывно дифференцируемая функция. Если дважды непрерывно дифференцируемая функция $\tilde{y}(x)$ является решением задачи со свободным концом, то она удовлетворяет системе уравнений Эйлера

$$\frac{\partial F}{\partial y_1} - \frac{d}{dx} \left(\frac{\partial F}{\partial y'_1} \right) = 0, \quad \frac{\partial F}{\partial y_2} - \frac{d}{dx} \left(\frac{\partial F}{\partial y'_2} \right) = 0.$$

№ 20.2

№ 4

4. $J(y_1, y_2) = \int_1^2 [12y_1^2 + y_2^2 + x^2(y'_1)^2 + (y'_2)^2] dx, y_1(1) = 1, y_2(1) = e,$
 $y_1(2) = 8, y_2(2) = e^2.$

$$F = 12y_1^2 + y_2^2 + x^2 y'_1^2 + y'_2^2$$

1) Система ур. Эйлера

$$\frac{\partial F}{\partial y_1} - \frac{d}{dx} \frac{\partial F}{\partial y'_1} = 0 \Rightarrow [24y_1] - \frac{d}{dx}[2x^2 y'_1] = 0$$

$$24y_1 - 4xy'_1 - 2x^2 y''_1 = 0$$

$$x^2 y''_1 + 2xy'_1 - 12y_1 = 0$$

Метод $x = e^t \Rightarrow t = \ln x$

$$\Rightarrow x^2 (y''_1 \cdot \frac{1}{x^2} - y'_1 \cdot \frac{1}{x^2}) + 2x \cdot y'_1 \cdot \frac{1}{x} - 12y_1 = 0$$

$$y''_1 + y'_1 - 12y_1 = 0$$

$$\lambda^2 + \lambda - 12 = 0 \Rightarrow \lambda_1 = 3, \lambda_2 = -4$$

$$\Rightarrow y_1 = C_1 e^{3t} + C_2 e^{-4t} \Rightarrow y_1 = C_1 x^3 + C_2 x^{-4}$$

$$\frac{\partial F}{\partial y_2} - \frac{d}{dx} \frac{\partial F}{\partial y'_2} = 0 \Rightarrow [2y_2] - \frac{d}{dx}[2y'_2] = 0$$

$$2y_2 - 2y''_2 = 0 \Rightarrow y''_2 - y_2 = 0$$

$$y_2 = C_3 e^x + C_4 e^{-x}$$

$$2) \begin{cases} y_1 = C_1 x^3 + C_2 x^{-4} \\ y_2 = C_3 e^x + C_4 e^{-x} \end{cases}$$

$$\begin{cases} C_1 + C_2 = 1 \\ C_1 8 + C_2 \cdot \frac{1}{16} = 8 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} C_1 = 1 \\ C_2 = 0 \end{cases}$$

$$y_1(1) = 1, y_2(1) = e \\ y_1(2) = 8, y_2(2) = e^2$$

$$\begin{cases} C_3 e + C_4 \frac{1}{e} = e \\ C_3 e^2 + C_4 \frac{1}{e^2} = e^2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} C_3 = 1 \\ C_4 = 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \hat{y}_1 = x^3, \hat{y}_2 = e^x \quad \text{гомоген. экспр.}$$

$$3) \delta^2 \mathcal{Y} = \int_1^2 [24 \delta y_1^2 + 2 \delta y_2^2 + 2x^2 \delta y_1'^2 + 2 \delta y_2'^2] dx$$

$$\Rightarrow \Delta \mathcal{Y} \geq 0 \Rightarrow \text{адм. мин.}$$

4. $\hat{y}_1(x) = x^3, \hat{y}_2(x) = e^x$, абс. мин.

Функционалы, содержащие производные второго порядка

Рассмотрим функционал

$$J[y] = \int_a^b F[x, y, y', y''] dx.$$

на множестве $C^2[a, b]$ таких функций, что $y(a) = A_1$, $y(b) = B_1$, $y'(a) = A_2$, $y'(b) = B_2$. Решаем задачу поиска экстремума этого функционала.

Предложение 4 Пусть $F[x, y, p]$ — трижды непрерывно дифференцируемая функция. Если трижды непрерывно дифференцируемая функция $\tilde{y}(x)$ является решением задачи со свободным концом, то она удовлетворяет уравнению Эйлера-Пуассона

$$\frac{\partial F}{\partial y} - \frac{d}{dx} \left(\frac{\partial F}{\partial y'} \right) + \frac{d^2}{dx^2} \left(\frac{\partial F}{\partial y''} \right) = 0.$$

l n 20.3

✓5

5. $J(y) = \int_0^1 [y^2 + 2(y')^2 + (y'')^2] dx$, $y(0) = y'(0) = 0$, $y(1) = 2 \sinh 1$,
 $y'(1) = 2e$.

$$F = y^2 + 2y'^2 + y''^2$$

1) Зр. Эйлера - Пуассона

$$\frac{\partial F}{\partial y} - \frac{d}{dx} \frac{\partial F}{\partial y'} + \frac{d^2}{dx^2} \frac{\partial F}{\partial y''} = 0 \Rightarrow [2y] - \frac{d}{dx} [4y'] + \frac{d^2}{dx^2} [2y'']$$

$$2y - 4y'' + 2y''' = 0$$

$$y''' - 2y'' + y = 0$$

$$\lambda^4 - 2\lambda^2 + 1 = 0 \Rightarrow (\lambda^2 - 1)^2 = 0$$

$$\lambda_{1,2} = 1$$

$$\lambda_{3,4} = -1$$

$$\Rightarrow y = (c_1 x + c_2) e^x + (c_3 x + c_4) e^{-x}$$

$$2) \begin{cases} y = (C_1 x + C_2) e^x + (C_3 x + C_4) e^{-x} \\ y(0) = 0, y'(0) = 0 \\ y(1) = 28h_1, y'(1) = 2e \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} C_2 + C_4 = 0 \\ C_1 + C_2 + C_3 - C_4 = 0 \\ (C_1 + C_2)e + (C_3 + C_4) \frac{1}{e} = 28h_1 \\ (2C_1 + C_2)e - e + \frac{1}{e} = 2e \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} C_1 = 1 \\ C_2 = -6 \\ C_3 = -1 \\ C_4 = 0 \end{cases}$$

$$y' = (C_1 x + C_2 + C_1) e^x - (C_3 x + C_4 - C_3) e^{-x}$$

$$\Rightarrow y = 2x \operatorname{sh} x - \text{допустим. экстрем}$$

$$3) 8^2 y = \int_0^1 [2\delta y^2 + 4\delta y'^2 + 1\delta y''^2] dx \Rightarrow \Delta Y \geq 0 \Rightarrow \text{абс. мин.}$$

5. $\hat{y}(x) = 2x \cdot \operatorname{sh} x$, абс. мин.

Изопериметрическая задача

Рассмотрим функционал

$$J[y] = \int_a^b F[x, y, y'] dx, \quad y(a) = A, \quad y(b) = B.$$

на множестве $C^1[a, b]$ таких функций, что $y(a) = A$, $y(b) = B$ и выполнено условие связы

$$\int_a^b G[x, y, y'] dx = l$$

Рассмотрим Лагранжиан

$$L[x, y, y', \lambda] = F[x, y, y'] + \lambda G[x, y, y'].$$

Предложение 5 Пусть $F[x, y, p]$, $G[x, y, p]$ – дважды непрерывно дифференцируемые функции. Если дважды непрерывно дифференцируемая функция $\tilde{y}(x)$ является решением изопериметрической задачи, то она удовлетворяет уравнению Эйлера вида:

$$\frac{\partial L}{\partial y} - \frac{d}{dx} \left(\frac{\partial L}{\partial y'} \right) = 0.$$

Находим множитель Лагранжа и экстремали решая уравнение Эйлера:

№ 121

№ 7

7. $J(y) = \int_0^1 [2xy + (y')^2] dx$, $y(0) = 0$, $y(1) = 3$, $\int_0^1 xy dx = 1$.

$$F = 2xy + y'^2$$

$$G = xy \Rightarrow L = (2+\lambda)xy + y'^2$$

1) Ур Эйлера: $\left[(2+\lambda)x \right] - \frac{d}{dx} [2y'] = 0$

$$(2+\lambda)x - 2y'' = 0$$

$$y'' = \left(1 + \frac{\lambda}{2}\right)x \Rightarrow y' = \left(1 + \frac{\lambda}{2}\right)\frac{x^2}{2} + C_1$$

$$y = \left(1 + \frac{\lambda}{2}\right)\frac{x^3}{6} + C_1x + C_2$$

$$2) \begin{cases} y(0)=0 \\ y(1)=3 \\ \int_0^1 xy \, dx = 1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} C_2 = 0 \\ (1 + \frac{\lambda}{2}) \frac{1}{6} + C_1 + C_2 = 3 \\ \int_0^1 \left[\left(1 + \frac{\lambda}{2} \right) \frac{x^3}{6} + C_1 x + C_2 \right] dx = 1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} C_1 = 3 \\ C_2 = 0 \\ \lambda = -2 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \hat{y} = 3x - \text{гомог. реш}$$

$$3) \delta^2 J = \int_0^1 [2 \delta y'^2] dx \Rightarrow \Delta y \geq 0 \Rightarrow \text{абс. мин!}$$

7. $\hat{y}(x) = 3x$, абс. мин.

NT6(a)

6. Исследовать на экстремум при всех значениях вещественного параметра a :

$$a) J[y] = \int_0^{\pi/2} (y'^2 - ay^2) dx, y(0) = 0, y(\pi/2) = 0;$$

$$F = y'^2 - ay^2$$

$$1) \text{yp энера } \frac{\partial F}{\partial y} - \frac{d}{dx} \frac{\partial F}{\partial y'} = 0 \Rightarrow [-2ay] - \frac{d}{dx} [2y'] = 0 \\ -2ay - 2y'' = 0$$

$$\Rightarrow y'' + ay = 0 \Rightarrow \text{постр } a = \text{sign}(a) k^2, k \in \mathbb{R}$$

$$\text{при } a > 0 \quad y'' + k^2 y = 0$$

$$y = C_1 \cos kx + C_2 \sin kx$$

$$\text{при } a = 0 \quad y'' = 0 \Rightarrow y = C_1 x + C_2$$

$$\text{при } a < 0 \quad y'' - k^2 y = 0 \Rightarrow y = C_1 e^{kx} + C_2 e^{-kx}$$

$$2) \begin{cases} y(0)=0 \\ y(\frac{\pi}{2})=0 \end{cases} \quad a > 0 \quad \begin{cases} C_1 = 0 \\ C_1 \cos \frac{\pi k}{2} + C_2 \sin \frac{\pi k}{2} = 0 \end{cases} \Rightarrow$$

$$\rightarrow \begin{cases} C_1 = 0 \\ C_2 = 0 \\ \hat{y} = 0 \end{cases}$$

также

$$\begin{cases} C_1 = 0 \\ C_2 \in \mathbb{R} \\ k = 2n, n \in \mathbb{Z} \end{cases} \text{ или } \begin{cases} C_1 = 0 \\ C_2 \in \mathbb{R} \\ k \neq 2n, n \in \mathbb{Z} \end{cases}$$

$\hat{y} = C_2 \sin(2nx)$ решение не цус

$$a=0 \quad \begin{cases} C_2 = 0 \\ C_1 = 0 \\ \hat{y} = 0 \end{cases}$$

$$a < 0 \quad \begin{cases} C_1 + C_2 = 0 \\ C_1 e^{\frac{\pi}{2}} + C_2 e^{-\frac{\pi}{2}} = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} C_1 = 0 \\ C_2 = 0 \end{cases} \Rightarrow \hat{y} = 0$$

$$3) S^2 y = \int_0^{\frac{\pi}{2}} [2 \delta y'^2 - 2a \delta y^2] dx$$

рассмотрим $\delta y = \sin(2mx), m \in \mathbb{Z}, h(0) = h\left(\frac{\pi}{2}\right) = 0$
 $\delta y' = 2m \cos(2mx)$

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} [2 \delta y'^2 - 2a \delta y^2] dx = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left[4m^2 \frac{1 + \cos 4mx}{2} - a \frac{1 - \cos 4mx}{2} \right] dx$$

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos 4mx dx = \frac{1}{4m} \sin 4mx \Big|_0^{\frac{\pi}{2}} = 0$$

$$\Rightarrow \int_0^{\frac{\pi}{2}} [2 \delta y'^2 - 2a \delta y^2] dx = \int_0^{\frac{\pi}{2}} [(4m^2 - a)] dx = (4m^2 - a) \frac{\pi}{2}$$

нрн $\forall a: m = \sqrt{\frac{a'}{2} + 1} \Rightarrow \Delta \hat{y} \geq 0$

$$m = \sqrt{\frac{a}{4}} \Rightarrow \Delta \hat{y} \leq 0$$

не одн. экспр.

IV Повторение

№ 6:

Найти все решения, исследовать особые решения и нарисовать качественную картину поведения интегральных кривых уравнений (1-66):

№ 35

35. $4y^3y'^2 - 4xy' + y = 0.$

$$y_1, y_2 = \frac{x \pm \sqrt{x^2 - y^4}}{2y^3} \quad \text{при } y \neq 0 \quad \text{иначе } y=0 \text{ реш}$$

пускай $u = y^2 \Rightarrow y' = \frac{1}{2y}u' \Rightarrow \frac{1}{2y} \cdot u' = \frac{x \pm \sqrt{x^2 - u^2}}{2y^3} \Rightarrow u \cdot u' = x \pm \sqrt{x^2 - u^2}$ (*)

пускай $u = x \sin \theta \Rightarrow \sqrt{x^2 - u^2} = x \cos \theta$
 $u' = \sin \theta + x \cos \theta \theta'$

$$\Rightarrow (\sin \theta + x \cos \theta \theta')x \sin \theta = x \pm x \cos \theta$$

$$(\sin \theta + x \cos \theta \theta') \sin \theta = 1 \pm \cos \theta$$

$$\sin^2 \theta + x \cos \theta \sin' \theta \theta' = 1 \pm \cos \theta$$

$$x \sin \theta \cos \theta \theta' = \pm \cos \theta + \cos^2 \theta$$

$$\Leftrightarrow \theta = 0 \Rightarrow \sin \theta = \pm 1 \Rightarrow x = \pm y^2$$

$\sin \theta \neq 0$

$$x \sin' \theta \theta' = \pm 1 + \cos \theta \Rightarrow \theta' = \frac{\pm 1 + \cos \theta}{x \sin \theta}$$

так $\theta' = \frac{\pm 1 + \cos \theta}{x \sin \theta} = \frac{\operatorname{ctg} \frac{\theta}{2}}{x}$ или $-\frac{\operatorname{tg} \frac{\theta}{2}}{x}$

$$\operatorname{tg} \frac{\theta}{2} d\theta = \frac{dx}{x} \text{ или } -\operatorname{ctg} \frac{\theta}{2} d\theta = \frac{dx}{x}$$

$$\int \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} d\theta = -2 \int \frac{d \cos \frac{\theta}{2}}{\cos^2 \frac{\theta}{2}} = -2 \ln |\cos \frac{\theta}{2}|$$

$$\int \operatorname{ctg} \frac{\theta}{2} d\theta = -2 \int \frac{d \sin \frac{\theta}{2}}{\sin^2 \frac{\theta}{2}} = -2 \ln |\sin \frac{\theta}{2}|$$

$$\Rightarrow \ln |x| + C = -2 \ln |\cos \frac{\theta}{2}| + \text{const} - 2 \ln |\sin \frac{\theta}{2}|$$

$$x^{-\frac{1}{2}} \cdot C = \cos \frac{\theta}{2} \text{ или } \sin \frac{\theta}{2}$$

$$x \sin' \theta = 2x \sin^2 \frac{\theta}{2} \cos^2 \frac{\theta}{2} = 2 \cdot x^{-\frac{1}{2}} C \cdot \sqrt{1 - x^{-1} C^2} \cdot x = u = y^2$$

$$\Rightarrow y^4 = 4C^2 x^{-1} (1 - x^{-1} C^2) x^2 = 4C^2 (x - C^2) = 4\tilde{C}(x - \tilde{C}), \tilde{c} = C^2$$

$$\Rightarrow y^4 = 4\tilde{C}(x - \tilde{C}) \Rightarrow x = C^* y^4 + \frac{1}{4C^*}, C^* = \frac{1}{4\tilde{C}}$$

35. $y = 0, x = Cy^4 + \frac{1}{4C}, x = \pm y^2$ — особые решения при $y \neq 0$.

C ny

Найти решение уравнения при заданных начальных условиях (54–67):

N₅₆

56. $xyy'' - xy'^2 + y'(y' + y) \sin x = 0, y(1) = 1, y'(1) = -1.$

$$y \rightarrow \lambda y \text{ unb. } \Rightarrow y^1 = y^2 \\ y'' = y(z^1 + z^2)$$

$$xy \cdot y(z^1 + z^2) - xy^2 z^2 + yz(yz + y) \sin x = 0$$

$$y=0 \text{ не реш} \Rightarrow x(z^1 + z^2) - xz^2 + z(z+1) \overset{!}{\sin x} = 0 \\ z^1 x + \cancel{z(z+1)} \overset{!}{\sin x} = 0$$

при $z = -1, z^1 = 0 \Rightarrow$ y.g. решение

$$\frac{y^1}{y} = -1 \Rightarrow \frac{dy}{y} = -dx \Rightarrow \begin{cases} \ln y = -x + C \\ y(1) = 1 \end{cases} \Rightarrow C = 1 \\ \Rightarrow \ln y = 1 - x$$

56. $\ln y = 1 - x.$

C n8:

N₁₂₆

126. $y^{IV} - 4y''' + 5y'' = 6(1+5x) + e^{2x}.$

ogn: $\lambda^4 - 4\lambda^3 + 5\lambda^2 = 0 \Rightarrow \lambda_{1,2} = 0 \text{ кр 2}$

$$\lambda_{3,4} = 2 \pm i$$

$$\Rightarrow y_0 = (C_1 x + C_2) + e^{2x} (C_3 \sin x + C_4 \cos x)$$

$$y_1: y'' - 4y''' + 5y'' = e^{2x}$$

$$\text{try const } y_1 = de^{2x}$$

$$y_1' = 2de^{2x}$$

$$y_1''' = 8de^{2x}$$

$$y_1'' = 16de^{2x}$$

$$y_1'' = 16de^{2x}$$

$$\Rightarrow 16de^{2x} - 4 \cdot 8de^{2x} + 5 \cdot 16de^{2x} = e^{2x}$$

$$d(16 - 32 + 80) = 1 \Rightarrow d = \frac{1}{4} \Rightarrow y_1 = \frac{1}{4}e^{2x} - \text{particular}$$

$$y_2: y'' - 4y''' + 5y'' = 6(1+5x)$$

$$y = dx^3 + \beta x^2$$

$$-4 \cdot 6d + 5(6dx + 2\beta) = 6(1+5x)$$

$$y' = 3dx^2 + 2\beta x$$

$$\begin{cases} d=1 \\ \beta=3 \end{cases} \Rightarrow x^3 + 3x$$

$$y'' = 6d$$

$$y''' = 0$$

$$\Rightarrow y = (C_1 x + C_2) + e^{2x} (C_3 \sin x + C_4 \cos x) + x^3 + 3x + \frac{1}{4}e^{2x}$$

$$126. y = C_1 + C_2 x + e^{2x} (C_3 \cos x + C_4 \sin x) + x^2(3+x) + \frac{1}{4}e^{2x}.$$

Cnq
N34

$$34. x^2y'' + x(-2 + x \operatorname{tg} x)y' + (2 - x \operatorname{tg} x)y = x^3 e^x \cos x, 0 < x < \frac{\pi}{2}.$$

$$y_1 = x \text{ particular soln}$$

$$\Rightarrow xy' - y = C_1 \exp \left[\int \frac{2-x \operatorname{tg} x}{x} dx \right] = C_1 x^2 \hookrightarrow x \quad | : x^2$$

$$I_1 = \int \frac{2-x \operatorname{tg} x}{x} dx = 2 \int \frac{dx}{x} - \int \operatorname{tg} x dx = \ln x^2 + \ln |\cos x|$$

$$\left(\frac{y}{x}\right)' = C_1 \cos x \Rightarrow \frac{y}{x} = C_1 \sin x + C_2$$

$$y = C_1 x \sin x + C_2 x$$

МБи:

$$\begin{cases} C_1' x \sin x + C_2' x = 0 /:x \\ C_1' (\sin x + x \cos x) + C_2' = x e^x \cos x \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} C_1' = e^x \\ C_2' = -e^x \sin x = -I_2 \end{cases}$$

$$I_2 = \int e^x \sin x dx = e^x \sin x - \int e^x \cos x = e^x \sin x - e^x \cos x - \int e^x \sin x dx$$

$$\begin{array}{l|l} u_1 = \sin x & u_1' = \cos x \\ v_1' = e^x & v_1 = e^x \end{array} \quad \begin{array}{l|l} u_2 = \cos x & u_2' = -\sin x \\ v_2' = e^x & v_2 = e^x \end{array}$$

$$2I_2 = e^x (\sin x - \cos x) + C_4 \Rightarrow I_2 = \frac{1}{2} e^x (\sin x - \cos x) + C_4$$

$$\begin{array}{l|l} C_1 = e^x + C_3 & \\ \Rightarrow C_2 = \frac{1}{2} e^x (\cos x - \sin x) + C_4 & \end{array}$$

$$\Rightarrow y = (e^x + C_3)x \sin x + \left[\frac{1}{2} e^x (\cos x - \sin x) + C_4 \right] x$$

$$y = C_3 x \sin x + C_4 x + \frac{1}{2} x (\cos x + \sin x) e^x$$

34. $y = x(C_1 + C_2 \sin x) + \frac{1}{2} x(\cos x + \sin x)e^x.$

C n//

Решить линейные однородные системы уравнений третьего порядка (15-116):

№55

$$55. \begin{cases} \dot{x} = x + 2z, \\ \dot{y} = 2x - y + 2z, \\ \dot{z} = x - y + z. \end{cases} \Rightarrow \begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 2 \\ 2 & -1 & 2 \\ 1 & -1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$$

$$\begin{vmatrix} 1-\lambda & 0 & 2 \\ 2 & -1-\lambda & 2 \\ 1 & -1 & 1-\lambda \end{vmatrix} = 0 \Rightarrow -\lambda^3 + \lambda^2 + \lambda - 1 = 0$$

$$(\lambda-1)(1-\lambda^2) = 0 \Rightarrow \lambda_{1,2} = 1 \text{ и } \lambda_3 = -1$$

CB: $\lambda_{1,2} = 1$ ирр:

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 2 \\ 2 & -2 & 2 \\ 1 & -1 & 0 \end{pmatrix} \sim \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & 0 \end{pmatrix} \Rightarrow h_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

присоедин h_1 :

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 2 & | & 1 \\ 2 & -2 & 2 & | & 1 \\ 1 & -1 & 0 & | & 0 \end{pmatrix} \sim \begin{pmatrix} 0 & 0 & 2 & | & 1 \\ 1 & -1 & 0 & | & 0 \end{pmatrix} \Rightarrow h_2 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1/2 \end{pmatrix}$$

$\lambda_3 = -1$ ирр:

$$\begin{pmatrix} 2 & 0 & 2 \\ 2 & 0 & 2 \\ 1 & -1 & 2 \end{pmatrix} \sim \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 \\ -1 & 1 & 2 \end{pmatrix} \Rightarrow h_3 = \begin{pmatrix} -1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\Rightarrow \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = C_1 e^t \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} + C_2 e^t \left(t \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1/2 \end{pmatrix} \right) + C_3 e^{-t} \begin{pmatrix} -1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

55. $\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = C_1 e^{-t} \begin{pmatrix} -1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} + C_2 e^t \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} + C_3 e^t \left[t \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1/2 \end{pmatrix} \right]$

Cn13

Найти положения равновесия, определить их характер и нарисовать фазовые траектории линеаризованных систем в окрестности положений равновесия для автономных систем (1-52):

4g

49. $\begin{cases} \dot{x} = 2 - 2\sqrt{1+x+y}, \\ \dot{y} = e^{\frac{5}{4}x+2y+y^2} - 1. \end{cases}$

$$\begin{cases} 2 - 2\sqrt{1+x+y} = 0 \\ \exp\left(\frac{5}{4}x + 2y + y^2\right) - 1 = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} (0, 0) \\ \left(\frac{3}{4}, -\frac{3}{4}\right) \end{cases}$$

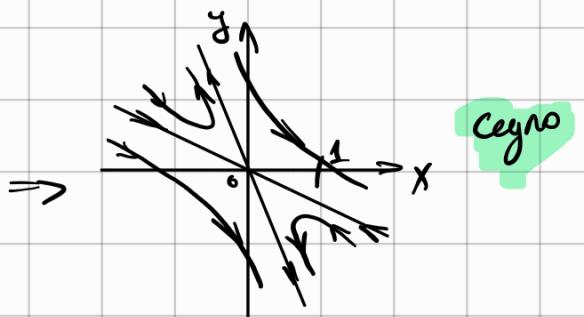
1) $b_T(0,0)$:

$$\begin{cases} \dot{x} = 2 - 2\sqrt{1+x+y} \\ \dot{y} = \exp\left(\frac{5}{4}x + 2y + y^2\right) - 1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \dot{x} = -x - y \\ \dot{y} = \frac{5}{4}x + 2y \end{cases} \Rightarrow \begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 & -1 \\ \frac{5}{4} & 2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$

$$\lambda_1 = -\frac{1}{2}$$

$$\lambda_2 = \frac{3}{2}$$

$$\Rightarrow \begin{pmatrix} -\frac{1}{2} & -1 \\ \frac{5}{4} & \frac{5}{2} \end{pmatrix} \sim \begin{pmatrix} 1 & 2 \end{pmatrix} \Rightarrow h_1 = \begin{pmatrix} 2 \\ -1 \end{pmatrix}$$



$$\Rightarrow \begin{pmatrix} -\frac{5}{2} & -1 \\ \frac{5}{4} & \frac{1}{2} \end{pmatrix} \sim \begin{pmatrix} 5 & 2 \end{pmatrix} \Rightarrow h_2 = \begin{pmatrix} 2 \\ -5 \end{pmatrix}$$

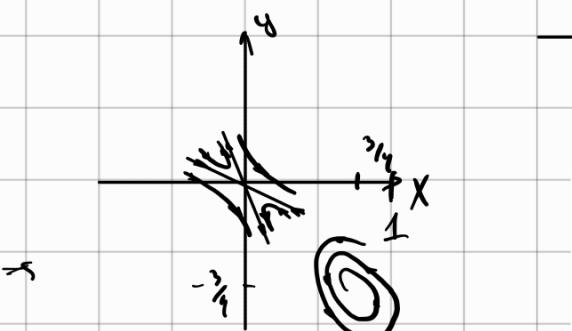
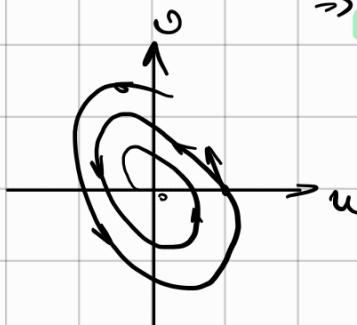
2) $b\left(\frac{3}{4}, -\frac{3}{4}\right)$

$$\text{переход} \begin{cases} u = x - \frac{3}{4} \\ v = y + \frac{3}{4} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} x = u + \frac{3}{4} \\ y = v - \frac{3}{4} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \dot{u} = 2 - 2\sqrt{1+(u+\frac{3}{4})+(v-\frac{3}{4})} \\ \dot{v} = \exp\left(\frac{5}{4}(u+\frac{3}{4})+2(v-\frac{3}{4})+(v-\frac{3}{4})^2\right) - 1 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \dot{u} = -u - v \\ \dot{v} = \frac{5}{4}u + \frac{1}{2}v \end{cases} \Rightarrow \begin{pmatrix} \dot{u} \\ \dot{v} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 & -1 \\ \frac{5}{4} & \frac{1}{2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} \Rightarrow \lambda_{1,2} = \frac{1}{4}(-1 \pm i\sqrt{11})$$

\Rightarrow уст фокус

$$(1, 0): \begin{pmatrix} \dot{u} \\ \dot{v} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 \\ \frac{5}{4} \end{pmatrix}$$



49. $\left(\frac{3}{4}, -\frac{3}{4}\right)$ — устойчивый фокус, \circlearrowleft ;

$(0, 0)$ — седло, $\lambda_1 = -\frac{1}{2}$, $\lambda_2 = \frac{3}{2}$, $h_1 = \begin{pmatrix} 2 \\ -1 \end{pmatrix}$, $h_2 = \begin{pmatrix} 2 \\ -5 \end{pmatrix}$.

C 117

Найти общее решение уравнения и решить задачу Коши с указанным начальным условием (1–100):

№84

84. $(x - 2x^2y) \frac{\partial u}{\partial x} + y \frac{\partial u}{\partial y} + 2x^2z^2 \frac{\partial u}{\partial z} = 0, u = y^2z \text{ при } x - y = 0.$

$$\begin{cases} x = x - 2x^2y \\ y = y \\ z = 2x^2z^2 \end{cases} \Rightarrow (x - 2x^2y) dy - y dx = 0 \quad | \cdot -\frac{1}{x}$$

$$(-\frac{1}{x} + 2y) dy + \frac{y}{x^2} dx = 0$$

$$d\left(-\frac{y}{x} + y^2\right) = 0 \Rightarrow u_1 = y^2 - \frac{y}{x}$$

$$x = \frac{y}{y^2 - u_1}$$

$$2\left(\frac{y}{y^2 - u_1}\right)^2 z^2 dy - y dz = 0 \quad | \cdot \frac{1}{z^2 y}$$

$$\frac{2y}{(y^2 - u_1)^2} - \frac{1}{z^2} = 0 \Rightarrow d\left(-\frac{1}{y^2 - u_1} + \frac{1}{z^2}\right) = 0$$

$$-\frac{1}{y^2 - u_1} + \frac{1}{z^2} = u_2$$

$$\frac{x}{y} + \frac{1}{z^2} = u_2$$

$$\Rightarrow u = f(y^2 - \frac{y}{x}, \frac{x}{y} + \frac{1}{z^2})$$

$$\begin{cases} u = y^2 z \\ x - y = 0 \end{cases} \Rightarrow x = y$$

$$u_1 = y^2 - 1 \Rightarrow y^2 = u_1 + 1$$

$$u_2 = -1 + \frac{1}{z^2} \Rightarrow z^2 = \frac{1}{u_2 + 1}$$

$$u_2 = \frac{x}{y} + \frac{1}{z^2} =$$

$$u = \frac{u_1 + 1}{u_2 + 1}$$

$$u = \frac{y^2 - \frac{y}{x} + 1}{-\frac{x}{y} + \frac{1}{z^2} + 1}$$

84. $u = F\left(\frac{y}{x} - y^2, \frac{1}{z} - \frac{x}{y}\right), u = \frac{1 + y^2 - \frac{y}{x}}{1 - \frac{x}{y} + \frac{1}{z}}$.

C 20.1
~8

8. $J(y) = \int_1^2 [x^3(y')^2 - 8(x^2 - x)yy' + 4y^2 + 8x^2y']dx, y(2) = -7.$

$$f = x^3y^2 - 8(x^2 - x)yy' + 4y^2 + 8x^2y'$$

1) Yp finnepa: $\frac{\partial F}{\partial y} - \frac{d}{dx} \frac{\partial F}{\partial y'} = 0 \Rightarrow [-8(x^2 - x)y' + 8y] - \frac{d}{dx}[2x^3y' - 8(x^2 - x)y + 8x^2y] = 0$
 $-8(x^2 - x)y' + 8y - 6x^2y' - 2x^3y'' + 16xy + 8x^2y' - 8y - 8xy' - 16x^2y'' = 0$

$$x^2y'' + 3xy' - 8y = -8$$

$$y_1 = x^2 \text{ - pen og h.}$$

$$\left(\frac{y}{x^2}\right)' = \frac{C_1}{x^4} \exp\left[-\int \frac{3}{x} dx\right] = \frac{C_1}{x^7}$$

$$\frac{y}{x^2} = \frac{C_1}{x^6} + C_2 \Rightarrow y = C_1 \frac{1}{x^4} + C_2 x^4$$

$$y_1 = 1 \text{ pen mogn} \Rightarrow y = C_1 \frac{1}{x^4} + C_2 x^4 + 1$$

2) $\begin{cases} y(2) = -7 \\ [2x^3y' - 8(x^2 - x)y + 8x^2] \Big|_{x=1} = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} C_1 = -2 \\ C_2 = 0 \end{cases} \Rightarrow \hat{y} = 1 - 2x^4$

3) $8^2y = \int_1^2 [8\delta y^2 - 16(x^2 - x)\delta y \delta y' + 2x^3\delta y'^2] dx$

$$I_1 = \int_1^2 [-16(x^2 - x)\delta y \delta y'] dx = -16(x^2 - x)\delta y^2 \Big|_1^2 - \int_1^2 [-16(x^2 - x)\delta y \delta y' - 16(2x - 1)\delta y^2] dx$$

$$u = -16(x^2 - x)\delta y \Rightarrow u' = -16(x^2 - x)\delta y' - 16(2x - 1)\delta y$$

$$v' = \delta y$$

$$2 I_1 = 2 \int_{-1}^2 [8(2x-1) \delta y^2] dx$$

$$\Rightarrow \delta^2 y = \int_{-1}^2 [16 \delta y^2 + 2x^3 \delta y^2] dx \Rightarrow \Delta y \geq 0 \Rightarrow \text{abc min}$$

8. $\hat{y} = 1 - 2x^2$, abc. min.