

# ОДУ - однородное дифференциальное уравнение

ОДУ & одн. уравн.

$F(x, y(x), y'(x), y''(x), \dots, y^{(n)}(x)) = 0$  - однородное - право-сторона оговаривает  $y^{(n)}(x)$

Рассмотрим:

$$\begin{cases} F_1(x, y^1, \dots, y^{(n)}, z, z^1, \dots, z^{(n)}) = 0 \\ F_2(x, y^1, \dots, y^{(n)}, z, z^1, \dots, z^{(n)}) = 0 \end{cases}$$

Уп-2 1-го порядка

$$F(x, y, y') = 0$$

- Если реш.:  $y_{p-2}$  1-го порядка, произведение всех право-сторон.:

$$\begin{aligned} y' &= F(x, y); \quad dy = df(x, y) dx \\ P(x, y) dy + Q(x, y) dx &= 0 \end{aligned} \quad \left. \begin{array}{l} \text{Уп-2 в дифр. форме} \\ \text{Уп-2 в дифр. форме} \end{array} \right\}$$

- Чтобы упрост.:  $y_{p-2}$  с различными переменными

$$f(x) dx + g(y) dy = 0; \quad \text{решение:}$$

$$F(x) = \int f(x) dx \quad G(x) = \int g(x) dx$$

$$df(x) + dg(y) = 0$$

$$d(F(x) + G(x)) = 0$$

$$F(x) + G(x) = \text{const}$$

$$\Leftrightarrow \int f(x) dx + \int g(y) dy = 0$$

С2 №4

$$y' \cos x + y(1+y) \sin x = 0$$

$$\frac{dy}{y(1+y)} + \frac{\sin x}{\cos x} dx = 0$$

$$\int \frac{dy}{y(1+y)} + \int \frac{\sin x}{\cos x} dx = 0$$

$$\int \frac{dy}{y(1+y)} = \int \frac{(1+y)-y}{y(1+y)} dy = \int \left( \frac{1}{y} - \frac{1}{1+y} \right) dy = \ln \left| \frac{y}{1+y} \right| + C_1$$

$$\int \frac{\sin x}{\cos x} dx = - \int \frac{d \cos x}{\cos x} = - \ln |\cos x| + C_2$$

$$\ln \left| \frac{y}{(1+y) \cos x} \right| = C_3$$

$$\frac{y}{(1+y) \cos x} = \pm e^{C_3} \quad C \in \mathbb{R} \quad (C=0 - \text{точка решения!})$$

$$\frac{y}{(1+y) \cos x} = C \quad \text{или} \quad y = -1 \quad (\text{решение решения когда она есть!})$$

$$y = \frac{C \cos x}{1 - C \cos x}$$

№ 67 \*

$$3y^2 y' + 16x = 2xy^3 \quad \text{Найдите } y(x) - \text{одн. л. } U(+\infty)$$

$$3y^2 y' = 2x(y^3 - 8)$$

$$\int \frac{3y^2 dy}{y^3 - 8} = \int 2x dx \quad - \text{неравенство } y^3 \neq 8$$

$$\ln |y^3 - 8| = x^2 + C,$$

$$y^3 - 8 = \pm e^{x^2+C}$$

$$C \in \mathbb{R} \quad (\delta > 0, \text{такое что } y^3 \neq 8)$$

$$y^3 - 8 = Ce^{x^2}$$

$$y(x) - \text{одн. лин. } C=0.$$

## Ортогональные траектории

Рассмотрим 2 ортогональные прямые:



$$y_2 = y_1 + \frac{\pi}{2}$$

$$k_2 = \operatorname{tg} \varphi_2 = \operatorname{tg}(\varphi_1 + \frac{\pi}{2}) = -\operatorname{ctg} \varphi_1 = -\frac{1}{\operatorname{tg} \varphi_1} = -\frac{1}{k_1}$$

$k_1 k_2 = -1$   $y \perp$  прямая.

Пусть ум.  $y_p = e^x$ :

$$y' = f(x, y)$$

Ортогональные траектории:

$$y' = -\frac{1}{f(x, y)}$$



- ортогональные кривые  $y_p = e^x$  (основные траектории)

Пример

$y = Cx^2$  - симметрические кривые. Найдите основные траектории.

$$C = \frac{y}{x^2}$$

$$0 = \frac{y'x^2 - 2xy}{x^4}$$

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

$$y' = 2 \frac{y}{x}$$

$$\text{Другой вариант: } y' = -\frac{x}{2y}$$

$$2y dy + x dx = 0$$

$$y^2 + \frac{x^2}{2} = C \quad - \text{ип-е эллипс}$$



### Однородные уравнения

Согласно ип-е с разделяющимися переменными

$$y' = f\left(\frac{y}{x}\right)$$

Замена:  $y = x z(x)$

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

$$x z' + z = f(z)$$

$$z' + z - f(z) = 0 \quad \left( \frac{dz}{z - f(z)} + dx = 0 \right)$$

### Ип-е, связанные с однородным

$$y' = f\left(\frac{a_1 x + b_1 y + c_1}{a_2 x + b_2 y + c_2}\right)$$

Замена:  $x = \xi + x_0, \quad y = \eta + y_0$

$$= 0 \quad (\text{Вида } x_0, y_0)$$

$$y' = f\left(\frac{a_1 \xi + b_1 \eta + \underbrace{a_1 x_0 + b_1 y_0 + c_1}_{= 0}}{a_2 \xi + b_2 \eta + \underbrace{a_2 x_0 + b_2 y_0 + c_2}_{= 0}}\right)$$

Получим однородное ип-е

Ф № 117

$$(y+2) dx = 2x+y-4 dy$$

$$\begin{cases} y+2=0 \\ 2x+y-4=0 \end{cases} \quad \begin{cases} y=-2 \\ x=3 \end{cases} \quad -x_0, y_0$$

$$x = \xi + 3 \quad y = \eta - 2$$

$$\eta d\xi = (2\xi + \eta) d\eta$$

$$\frac{\eta}{\xi} = z$$

$$z \xi dz = (2\xi + z\xi)(z d\xi + \xi dz)$$

$$(z\xi - z(2\xi + z\xi))d\xi = \xi \cdot (2\xi + z\xi)dz$$

$$z\xi(1-z-z)d\xi = \xi^2(2+z)dz \quad | \quad \xi=0 \text{ - не реш-е}$$

$$-z(1+z)d\xi = \xi(2+z)dz$$

$$-\frac{d\xi}{\xi} = \frac{2+z}{z(z+1)} dz$$

$$-\int \frac{d\xi}{\xi} = \left( \frac{2}{z} - \frac{1}{z+1} \right) dz$$

$$\frac{z^2}{z+1} \cdot \xi = C$$

$$\frac{y^2}{y+\xi} = C \Rightarrow \frac{(y+z)^2}{y+x-1} = C \Rightarrow \begin{cases} (y+z)^2 = C(y+x-1) \\ x+y = 1 \end{cases} \quad (\text{не теряем } x+y=1)$$

### линейное ур-е I порядка

$$y' + a(x)y = b(x) \quad - \text{неоднородное}$$

Рас-шее линейное однородное ур-е:

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

$$\frac{dy}{y} + a(x)dx = 0$$

$$\ln|y| + \int a(x)dx = 0$$

$$y = C_0 e^{\int a(x)dx} \leftarrow \text{одна независим.}$$

$y = C_0 \varphi(x)$  - общее решение однородного ур-а;  $\varphi(x)$ - частное решение

### Метод вариации параметров: ((о членах на ур-е))

Задана  $y = C(x) \cdot \varphi(x)$  & неоднородное ур-е:

$$C' \varphi + C \varphi' + aC \varphi = b$$

$$C' \varphi + \underbrace{C(\varphi' + a\varphi)}_{=0 \text{ (у-е реш-е однор. ур-а)}} = b$$

$$C'(x)\varphi(x) = b(x) \quad - \text{ур-е с разг. переменными}$$

C 3.37

$$x^2 y' = 5xy + 6, \quad y(1)=1$$

Рас-шее однор. ур-е:  $x^2 y' = 5xy$

$$\frac{dy}{y} = 5 \frac{dx}{x}$$

$$y = x^5 C_0 \quad | \quad y(x) = C_0(x) x^5$$

$$x^2(C'x^5 + C_0x^4) = 5x(Cx^5 + 6)$$

$$C' = \frac{6}{x^2} ; \quad C = -\frac{1}{x^6} + D$$

$$y = \left(-\frac{1}{x^6} + D\right)x^5 \Rightarrow y = -\frac{1}{x} + Dx^5 - \text{perm-e}$$

$$y(1) = 1 ; \quad 1 = -1 + D \Rightarrow D = 2$$

$$y = -\frac{1}{x} + 2x^5$$

Nº 1

$$xy' - 2y = 2x^4$$

$$\text{Dy: } xy' - 2y = 0$$

$$\frac{dy}{y} = 2 \frac{dx}{x}$$

$$\ln|y| = 2 \ln|x| + C$$

$$y = Cx^2$$

$$\text{Bn: } y = C(x) x^2$$

$$x[C'x^2 + 2Cx] - 2Cx^2 = 2x^4$$

$$C'x^3 = 2x^4$$

$$C' = 2x \Rightarrow C = x^2 + C$$

$$y = (x^2 + C)x^2 = x^4 + x^2 C$$

Nº 2

$$\text{bez Bn: } xy' - 2y = 2x^4 | :x$$

$$x^2y' - 2xy = 2x^5$$

$$\frac{x^2y' - 2xy}{x^4} = 2x$$

$$\left(\frac{y}{x^2}\right)' = 2x$$

$$\frac{y}{x^2} = x^2 + C \Rightarrow y = x^4 + Cx^2$$

- Однородные уравнения т.е.: неизвестная входит в линейной форме в правл. (см. БП)

- Метод неизвестных  $y$  и  $x$  & способа:

$$(1+y^2) dx + (2xy-1) dy = 0$$

$$(1+y^2) \frac{dx}{dy} = 1-2xy - \text{линейное}$$

$$\frac{dx}{dy} = -\frac{2yx}{1+y^2} + \frac{1}{1+y^2}$$

$$\text{ОУ: } \frac{dx}{dy} = -\frac{2yx}{1+y^2}$$

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

$$\text{БП: } x = \frac{C(y)}{1+y^2} \quad \text{Ответ: } C(y) = y + C, \quad x = \frac{y+C}{1+y^2}$$

## Уравнение Бернулли

$$y' + a(x)y = b(x)y^n, \quad n \in \mathbb{R} \quad - \text{приводится к линейному!}$$

$$n=0 \rightarrow \text{ЛУ} \quad n \geq 0 \Rightarrow y=0 - \text{реш.}$$

$$n=1 \rightarrow \text{ЛУ} \quad n < 0 \Rightarrow y=0 - \text{не реш.}$$

$$\frac{y'}{y^n} + \frac{a(x)}{y^{n-1}} = b(x)$$

$$\text{Замена: } z = \frac{1}{y^{n-1}} = y^{1-n}$$

$$z' = (1-n)y^{-n}y' = (1-n)\frac{y'}{y^n}$$

$$\text{Получим } (1-n)z' + a(x)z = b(x) \quad - \text{ЛУ}$$

№4

$$y' - y + 2xy^3 = 0 \quad | \quad y=0 - \text{реш.}$$

$$2x = \frac{z'}{z} + z$$

$$\frac{y'}{y^3} - \frac{1}{y^2} + 2x = 0$$

$$\frac{dz}{dx} + 2z = 4x$$

$$z = \frac{1}{y^2}, \quad z' = -\frac{2}{y^3}y'$$

$$\text{ОУ: } \frac{dz}{dx} + 2z = 0$$

$$-\frac{z'}{2} - z + 2x = 0$$

$$\frac{dz}{z} = -2dx \Rightarrow z = Ce^{-2x}$$

$$\text{БП: } z = C(x) e^{-2x}$$

$$C'(x)e^{-2x} - 2C(x)e^{-2x} + 2C(x)e^{-2x} = 4x$$

$$C'(x) = 4x e^{2x}$$

$$C(x) = \int 4x e^{2x} dx = 2x e^{2x} - e^{2x} + C$$

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

Orter:

$$\begin{cases} y^2 = ((2x-1) + Ce^{-2x})^{-1} \\ y = 0 \end{cases}$$

## Уравнение Риккатти

$$y' + a(x)y + b(x)y^2 = f(x)$$

Пусть  $y_0$  - решение

$$y = z + y_0 \quad z - новая неизв. оп-ия \Rightarrow y_0 - е. Бернгуар$$

№5

$$x^2 y' - 5xy + x^2 y^2 + 8 = 0$$

$$y_0 = \frac{k}{x}$$

$$-\frac{x^2 k}{x^2} - \frac{5xk}{x} + x^2 \frac{k^2}{x^2} + 8 = 0$$

$$-k - 5k + k^2 + 8 = 0$$

$$k=2, \quad k=y$$

$$\frac{x}{z} = \frac{1}{2}x^2 + C \Rightarrow \frac{x^2}{xy-2} = \frac{x^2}{2} + C; \quad y = \frac{2}{x}$$

$$\text{Сделаем замену } y = z + \frac{2}{x}:$$

$$x^2 \left( z' - \frac{2}{x^2} \right) - 5x \left( z + \frac{2}{x} \right) + x^2 \left( z^2 + \frac{4z}{x} + \frac{4}{x^2} \right) + 8 = 0$$

$$x^2 z' - zx + x^2 z^2 = 0 \quad | : x$$

$$xz' - z + xz^2 = 0$$

$$\frac{z'x - z}{z^2} = -x \Rightarrow \left( \frac{x}{z} \right)' = x$$

## Уравнение 8 порядка дифференциальное

$$P(x,y)dx + Q(x,y)dy = 0 \quad - P \text{ и } Q \text{ неяв.}$$

$$\text{Пусть } P(x,y)dx + Q(x,y)dy = dF(x,y) \quad - F \text{ неяв. функция, } \& G \subset \mathbb{R}^2$$

$$\exists F: \quad P = \frac{\partial F}{\partial x}, \quad Q = \frac{\partial F}{\partial y}$$

$$\text{Реш. е: } F(x,y) = C \quad (\text{т.е. } F \text{ - неяв. функция})$$

Пусть  $F$  - функция неяв. функции 8-го:

$$\text{Если } \exists P = \frac{\partial F}{\partial x}, \quad Q = \frac{\partial F}{\partial y}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial P}{\partial y} = \frac{\partial^2 F}{\partial y \partial x} \\ \frac{\partial Q}{\partial x} = \frac{\partial^2 F}{\partial x \partial y} \end{array} \right. - \text{должны быть равны!} \quad - \text{неоднозначные начальные постепенности}$$

Условие 2б-го го условия, если одн.  $G$  односвязна.



№6

$$(1+3x^2 \ln y) dx + (3y^2 + \frac{x^3}{y}) dy = 0$$

$G = \{y > 0\}$  - односвязна

$$\exists F: \frac{\partial F}{\partial x} = P, \quad \frac{\partial F}{\partial y} = Q$$

Можно угадать, но если нет:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial F}{\partial x} = 1+3x^2 \ln y \\ \frac{\partial F}{\partial y} = 3y^2 + \frac{x^3}{y} \end{array} \right. \begin{array}{l} \xrightarrow[\text{но } x]{\text{интегрируем}} \\ \xrightarrow{\text{но } y} \end{array} \begin{array}{l} F = x + x^3 \ln y + C(y) \\ \frac{\partial F}{\partial y} = \frac{x^3}{y} + C'(y) \Rightarrow C'(y) = 3y^2 \Rightarrow C(y) = y^3 + C \\ F = x + x^3 \ln y + y^3 \end{array}$$

### Интегрируемый множитель

Если постепенности сразу нет:

$$\mu P = \frac{\partial F}{\partial x}, \quad \mu Q = \frac{\partial F}{\partial y} \quad - \text{надо решить систему - конечно, так нужно не всегда.}$$

№7

$$(y - 3x^2 y^3) dx - (x + x^3 y^2) dy = 0$$

$$\frac{\partial P}{\partial y} = 1 - 9x^2 y^2 \quad \frac{\partial Q}{\partial x} = -1 - 3x^2 y^2 \quad - \text{не равны}$$

$$y dx - x dy - 3x^2 y^3 dx - x^3 y^2 dy = 0 \quad |y=0-\text{пем}, x=0-\text{пем}$$

$$\frac{y dx - x dy}{y^2} = 3x^2 y dx - x^3 dy$$

$$d\left(\frac{x}{y}\right) = d(x^3 y) \Rightarrow \frac{x}{y} = x^3 y + C; \quad y=0; \quad x=0.$$

## Уравнения высшего порядка

$F(x, y, y', \dots, y^{(n)}) = 0$  - надо поменять порядок! каскад при  $y^{(n)} \neq 0$  примен!

### Методы понижения порядка

① Использование  $y$ :  $y' = z$ ,  $F(x, y, y', \dots, y^{(n)}) \rightarrow F(x, z, z', \dots, z^{(n-1)})$

$$xy'' + xy''' + y' = 0, \quad y' = z; \quad y = \text{const} - \text{решение}$$

$$xz' + xz + z = 0 \quad | \times x \Rightarrow \text{условие}$$

$$x \frac{z'}{z^2} + x + \frac{1}{z} = 0, \quad \frac{1}{z} = u$$

$$-xu' + x + u = 0 \quad | : x^2$$

$$\frac{u - xu'}{x^2} + \frac{1}{x} = 0 \Rightarrow d\left(\frac{u}{x}\right) = \frac{1}{x} \Rightarrow \frac{u}{x} = \ln x + C, \quad \frac{1}{zx} = \ln x + C$$

$$z = y' = \frac{1}{x(\ln x + C)} \quad y = \int \frac{dx}{x(\ln x + C)} = \ln |\ln x + C| + C_1 \quad \begin{cases} y = \ln |\ln x + C| + C_1 \\ y = \text{const} \end{cases}$$

② Уп-е для  $z$  в  $y$

$F(y, y', \dots, y^{(n)}) = 0$ ;  $y$ -некая неизв. переменная

$y' = z(y)$  - некая пр-ва

$$y'' = (y'_x)'_x = (y'_x)_y \cdot y'_x = z \cdot z'_y$$

$$y''' = (y''_{xx})'_x = (y''_{xx})_y \cdot y'_x = (z \cdot z'_y)'_y \cdot y'_x = (z'^2 + z \cdot z''_{yy}) z = z \cdot z'^2 + z^2 z''_{yy}$$

### Пример

$$yy'' = 2y'^2 - 4y^2y'^3 \quad y' = z(y) \quad y'' = zz'$$

$$yzz' = 2z^2 - 4y^2z^3 \quad | : z$$

$$z = 0 - \text{решение}$$

$$y = C$$

$$yz' = 2z - 4y^2z^2 \quad | : z^2$$

$$\frac{y}{z^2} z' = \frac{2}{z} - 4y^2 \quad \frac{1}{z} = u \quad u' = -\frac{1}{z^2} z'$$

$$-yu' = 2u - 4y^2$$

$$\text{DIV: } 2u + yu' = 0 \quad \ln|u| = -2 \ln|y| + C$$

$$2u = -\frac{du}{dy} y \quad u = \frac{C}{y^2}$$

$$\frac{dy}{u} = -2 \frac{dy}{y}$$

$$B\cap: u = \frac{c(y)}{y^2}$$

$$\frac{-c'(y)y^2 + 2yC(y)}{y^3} = 2\frac{c(y)}{y^2} - 4y^2$$

$$C'(y) = 4y^3 \Rightarrow C(y) = y^4 + C \Rightarrow u = \frac{y^3 + C}{y^2} \Rightarrow z = \frac{y^2}{y^4 + C}$$

$$y' = \frac{y^2}{y^4 + C}$$

$$\left( y^2 + \frac{C}{y^2} \right) dy = dx$$

$$\frac{y^3}{3} - \frac{C}{y} = x + C_1 \quad \text{Oder: } \begin{cases} \frac{y^3}{3} + \frac{C}{y} = x + C, \\ y = C \end{cases}$$

Задача Коши для ур-я n-го порядка

$$F(x, y, y', \dots, y^{(n)}) = 0$$

$$y(x_0) = y_0, \quad y'(x_0) = y_1, \dots, \quad y^{(n-1)}(x_0) = y_{n-1}$$

2 способа решения

1. Найти однор. ур-е  $C_1 \dots C_n$ , неравн. к ним, наимен. не-однор. ур-я  $n$  ур-ий с  $n$  нач. ул.
2. Аналогич. константн. нач. ул., но с заменой нач. ул. наимен. ур-я

Пример

$$yy'' - y'^2 = y^4 \quad y(1) = 2, \quad y'(1) = -4$$

$$y \cdot z' - z^2 = y^4 \quad y' = z(y)$$

$$y \cdot \frac{u'}{2} - u = y^4 \quad u = z^2, \quad u' = 2zz'$$

$$Dy: y \frac{du}{dy} = 2u$$

$$B\cap: u = C(y) \cdot y^2$$

$$\frac{du}{u} = \frac{2dy}{y}$$

$$u = y^2 C$$

$$\frac{y}{2} \cdot (C'(y) \cdot y^2 + 2yC(y)) - C(y) \cdot y^2 = y^4$$

$$C'(y) = 2y$$

$$C(y) = y^2 + C$$

$$u = y^4 + C y^2$$

$$z(2) = -4$$

$y' < 0$  &  $x=1$

$$16 = 16 + C_4 \Rightarrow C_4 = 0$$

$$y' = -y^2$$

$$z^2 = y^2$$

$$\frac{dy}{y^2} = -dx$$

$$y' = \pm y^2$$

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

$$y(1) = 2 \Rightarrow \frac{1}{2} = 1 + C_1 \Rightarrow C_1 = -\frac{1}{2}$$

$$\text{Def.: } \frac{1}{y} = x - \frac{1}{2}$$

③

yp-e, ognopognoe otne.  $y, y', \dots, y^{(n)}$

$F(x, y, y', \dots, y^{(n)}) = 0$  - ognopognomu uwaroveni otne.  $y, y', \dots, y^{(n)}$   
ckosp.-iamu  $f_i(x)$

$y=0$  - bceaga pem-e!

Пример 1

$$(sin x + 1)y^2 y' y''' - \sqrt{1-x^2} y^4 y''^2 + arctg x y y' y'' y''' = 0 \quad | \quad y=0 \text{ - pem-e}$$

$$\frac{y'}{y} = z \quad y' = zy \quad y'' = y(z' + y'z) = y(z^2 + z')$$

$$y''' = y'(z^2 + z') + y(2zz' + z'') = yz(z^2 + z') + y(2zz' + z'') = y(z^3 + 3zz' + z'')$$

Plane negizatkolen  $\delta$  yp-e - vasp-e na y

Пример 2

$$yy'' - y'^2 + y^2 \sin x = 0 \quad y=0 \text{ - pem-e}$$

$$z = \frac{y'}{y} \quad y' = zy \quad y'' = y(z^2 + z')$$

$$y^2(z^2 + z') - z^2 y^2 + y^2 \sin x = 0$$

$$z^2 + z' - z^2 + \sin x = 0$$

$$\frac{dz}{dx} = -\sin x \Rightarrow z = \cos x + C = \frac{y'}{y}$$

$$\ln|y'| = \sin x + C_x + C_1$$

$$y = C_1 e^{\sin x + C_x}$$

Zagara kumm

$$2x y^2 y'' - 2xyy' + 2xy'^3 = y'y'' \quad y'(1) = y''(1) = -1$$

$y=0$  - psm-e, no ne psm-e Zagara kumm

$$y' = yz, \quad y'' = y(z^2 + z')$$

$$2x y^3 (z^2 + z') - 2xy^3 z^2 + 2xy^3 z^3 = y^3 z - \text{gammal korpusmässig } y!$$

$$2x z^2 + 2xz' - 2xz^2 + 2xz^3 = z - \text{gammal korpusmässig } y!$$

$$2xz' + 2xz^3 = z \quad \left| \begin{array}{l} z=0 - \text{ne psm-e kumm: } z(1)=1 \\ :z^3 \end{array} \right.$$

$$2x \frac{z'}{z^3} + 2xz = \frac{1}{z^2} \quad u = \frac{1}{z^2} \quad u' = -2 \frac{z'}{z^3}$$

$$-xu' + 2x = u$$

$$(u + xu') = 2x$$

$$(xu)' = 2x$$

$$xu = x^2 + C \quad u(1) = 1$$

$$1 - 1 + C = 0 \Rightarrow C = 0$$

$$u = x$$

$$z^2 = \frac{1}{x}$$

$$z = \frac{1}{\sqrt{x}}$$

$$\frac{y'}{y} = \frac{1}{\sqrt{x}} \Rightarrow \ln |y| = 2\sqrt{x} + C$$

$$0 = 2 + C \Rightarrow C = -2$$

$$\ln |y| = 2\sqrt{x} - 2$$

$$|y| = e^{2\sqrt{x}-2}$$

$$y = -e^{2\sqrt{x}-2}, \quad y(1) = -1 \Rightarrow y < 0$$

#### ④ Однородная однородность

Пусть  $\exists k \in \mathbb{R}$ : при замене  $x$  на  $kx$ ,  $y$  на  $k^n y$ ,  $y'$  на  $k^{n-1} y'$ , ...,  $y^{(n)}$  на  $k^{n-n} y^{(n)}$ , то бкд образное с  $y$  корпсмässig (yp-e ne izmenitsja)

Bvejem nobyno nezab. nep. t u op-mu  $z(t)$ :

$$x = \begin{cases} e^t, & x > 0, \\ -e^t, & x < 0, \end{cases} \quad y = z e^{-xt} \quad (z \neq 0)$$

Togu yp-e ne byhet corpmässig abvo t. (n.z.)

Пример (7.65 а, д)

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

$$x \rightarrow \lambda x \quad y \rightarrow \lambda^k y \quad y' \rightarrow \lambda^{k-1} y' \quad y'' \rightarrow \lambda^{k-2} y''$$

$$\lambda^2 x^2 \lambda^{k-2} y'' + 2\lambda^2 x^2 \lambda^{k-1} y' + 2\lambda x \lambda^k y - 2\lambda^k y = 0$$

$$2+k-2 = 2+2k-1 = 1+2k = k$$

$$k = 2k+1 = 2k+1 = k$$

$$k = -1$$

$$x = e^t, \quad y = z e^{-t}$$

$$y, \quad y_x = \frac{y'}{x_t} = \frac{\text{lim}_{x \rightarrow x_0} \frac{y(x)}{x} - \frac{y(x_0)}{x_0}}{e^t - e^{t_0}} = e^{-2t} (z' - z)$$

$$y'' = \frac{(y_x)'_t}{x_t} = \frac{(z'' - z') e^{-2t} - 2(z' - z) e^{-2t}}{e^t} = e^{-3t} \cdot (z'' - z' - 2z' + 2z) = e^{-3t} (z'' - 3z' + 2z)$$

$$e^{2t} \cdot e^{-3t} \cdot (z'' - 3z' + 2z) + 2e^{2t} \cdot z \cdot e^{-t} \cdot e^{-2t} (z' - z) + 2e^{2t} \cdot z^2 \cdot e^{-2t} - 2ze^{-t} = 0$$

$$z'' - 3z' + 2z + 2z^2 - 2z^2 + 2z^2 - 2z = 0$$

$$z'' + z' (2z - 3) = 0 \quad x=1, \quad y=-1, \quad y'=1 \Rightarrow t=0, \quad z=-1, \quad z'=0$$

$z = -1$  — рим-е загорн. Коин! У ню т. о загорн. Коин оно егунсиверно.

Теорема о сунгесівованні «егунсиверном» рим-е загорн. Коин

$$y^{(n)} = f(x, y', \dots, y^{(n-1)}) \quad (*)$$

$f$  непр. дифгрп. в окр-ини  $(x_0, y_0, \dots, y_{n-1}) \in \mathbb{R}^{n+1}$

Тогда рим-е з. Коин  $(*)$  + уе- $\rightarrow$   $y(x_0) = y_0, \dots, y^{(n-1)}(x_0) = y_{n-1}$

сунг-ел в егунсиверно на кен-ам  $[x_0 - \delta, x_0 + \delta]$

$n=1$ . Теор. сунг-ел в ег-сан:

3. Коин  $y' = f(x, y), y(x_0) = y_0$ . Еан қп-ас  $f(x, y)$  дифгрп. в  $G > (x_0, y_0)$ , то

$\exists \delta > 0$ : на  $[x_0 - \delta, x_0 + \delta]$  рим-е з. Коин сунг-ел в ег.



## Примеры

$$y' = y, \quad y(0) = 1$$

$F(x, y) = y$  непр. зависим. в  $\mathbb{R}^2$

$$y = Ce^x, \quad y(0) = 1, \quad C = 1$$

$$y = e^x + C$$

Безже есть реш-е

$$y' = \sqrt[3]{y^2}, \quad y(0) = 0$$

$y=0$  - реш-е, но  $y^{2/3}$  - неяв-е непр. зависим. ( $\frac{\partial F}{\partial y}(0, 0)$  не определено)

Казалось, это реш-е единственное, но нет.

$$\frac{dy}{y^{2/3}} = dx \quad y^{1/3} = x + C \quad y = (x + C)^3 \quad y(0) = 0 \Rightarrow y = x^3 - \text{реш-е}$$

Для  $f \in C_G^1$  т. о. выс. н. э. не подходит

## Особые решения



Реш-е вида  $y = x^3$ , оп. на всей прямой, но иного

Реш-е  $y \rightarrow F(x, y, y') = 0$  наз. особым, если реш-е касается в точке протографа линии интегральных кривых, расположенных в этой точке гамильтоновой кубики и не содержит ни в одной из них точек определения.

$$y' = \sqrt[3]{y^2} \quad y(0) = 0$$

Если  $y_0 \neq 0$ , то реш-е  $y = x^3$  является единственным реш-ем вида т., но не гл-е eq., если это точка, то есть не-е.

## Краевые у-е

$$y' = \sqrt[3]{y^2}$$

$$y(-4) = -1, \quad y(2) = 1$$

$$y = (x + C)^3 : \quad y = (x + 3)^3 \text{ при } y(-4) = -1$$

$$y = (x + 1)^3 \text{ при } y(2) = 1$$

$$y = \begin{cases} (x-1)^3, & x \geq 1 \\ 0, & x \in (-3, 1) \\ (x+3)^3, & x \leq -3 \end{cases}$$

$y_p \rightarrow$  1 порядка, не зависим. относ.  $y'$

$y = f(x, y')$  - зависим. относ.  $y$

Метод свободного параметра:  $y' = p$

$y = f(x, p)$

$$dy = f'_x dx + f'_p dp; \quad dy = pdx$$

$$f'_p dp = (p - f'_x) dx$$

$$\frac{dp}{dx} = F(x, p) \quad \text{или} \quad \frac{dx}{dp} = G(x, p) \quad - \text{для } 1 \text{ независим. относ. групп.}$$

1. Нашему решению  $x = x(p, C)$

$$y = f(x, p) = y(p, C)$$

Генерическое реш. вида  $y(p, C)$  и обратное ему.

2. Нашему решению  $p = p(x, C)$

$$y = f(x, p) = y(x, C)$$

Генерическое реш. вида  $y(x, C)$

Пример 1

$$y = 2xy' - 4y'^3 \quad - \text{не зависим. относ. } y'$$

$$p = y'$$

$$y = 2xp - 4p^3$$

$$dy = 2p dx + 2x dp - 12p^2 dp = pdx$$

$$p dx = (12p^2 - 2x) dp$$

$$p \frac{dx}{dp} = 12p^2 - 2x \quad - \text{для } p=0 \Rightarrow y=0 \text{ - решение}$$

Уравнение  $x = x(p)$ ,  $p = \text{const}$  - не линейн.

$$\text{Одн.}: \quad p \frac{dx}{dp} = -2x$$

$$\frac{dx}{x} = -\frac{2dp}{p}$$

$$\text{Будем} \quad x = \frac{C(p)}{p^2}$$

$$\ln|x| = -2 \ln|p| + C$$

$$x = \frac{C}{p^2}$$

$$p \frac{\frac{C'(p)p^2 - 2pC(p)}{p^4}}{p^2} = 12p^2 - 2 \frac{C(p)}{p^2}$$

$$\frac{C'(p)}{p} = 12p^2 \Rightarrow C(p) = 3p^4 + C$$

$$x = \frac{3p^4 + C}{p^2} = 3p^2 + \frac{C}{p^2}$$

$$y = 6p^3 + 2\frac{C}{p} - 4p^3 = 2p^3 + 2\frac{C}{p} \quad \text{Dabei: } x = 3p^2 + \frac{C}{p^2}, \quad y = 2p^3 + 2\frac{C}{p} \text{ und } y = 0.$$

Пример 2

$$u(xy' - 2y) = 4x^2 - y'^2 \quad y' = p$$

$$u(xp - 2y) = 4x^2 - p^2$$

$$y = \frac{xp}{2} - \frac{x^2}{2} + \frac{p^2}{8}$$

$$dy = \frac{pdx}{2} + \frac{xdp}{2} - xdx + \frac{pd\cancel{p}}{\cancel{y}} = pdx$$

$$\frac{p+2x}{2} dx = \frac{2x+p}{4} dp$$

$$1. \quad p = -2x \Rightarrow y = -x^2 - \frac{x^2}{2} + \frac{x^2}{2} \Rightarrow y = -x^2$$

$$2. \quad 2dx = dp$$

$$p = 2x + C$$

$$y = \frac{2x^2 + Cx}{2} - \frac{x^2}{2} + \frac{(2x+C)^2}{8}$$

$$y = \frac{x^2 + Cx}{2} + \frac{4x^2 + 4xC + C^2}{8}$$

$$\text{Dabei: } \begin{cases} y = x^2 + Cx + \frac{C^2}{8} \\ y = -x^2 \end{cases}$$

3. А теперь мы сделали так (здесь в группе):

$$p = p(x, C)$$

$y' = p(x, C)$  — неизвестное

$$\text{В примере } p = -2x \Rightarrow y = -x^2 + C$$

Если неизвестное в  $yp$ -е, например:  $C = 0$ . Где для  $x=0$  — то не то

Так решая, находим, что в данном момент  $p = p(x, C)$  — неизвестное  $yp$ -е,

т. е. производительное  $p(x, C)$  нужно подставить в  $yp$ -е и решить систему,

но: Так будем — то можно. График неизвестного.

Исправление:

$$x^2 + Cx + \frac{C^2}{8} = -x^2 \Rightarrow \left(x + \frac{C}{4}\right)^2 = 0 \Rightarrow \text{2 решения для } C \neq 0 \text{ т. } x = -\frac{C}{4}$$

$C$ -модель  $\Rightarrow x_{\text{каким}} - \text{модель} \Rightarrow y = -x^2 - \text{одна из линий}.$



Проверить на  $\rho$ -группа однородных решений?

$$F(x, y, y') = 0, \quad F - \text{непр. группа.}$$

$\exists \rho$  - гомогенизирующая кривая:

$$\begin{cases} F(x, y, \rho) = 0 \\ \frac{\partial F}{\partial \rho}(x, y, \rho) = 0 \end{cases} \text{ иначе } \rho \Rightarrow \Phi(x, y) = 0$$

Если решение  $y$  для  $F(x, y, y')$  является однородным, то оно будет на  $\rho$ -груп. кривой.

Несовпадение на  $\rho$ -груп. кривой - неодн. реш. есть однородное реш.

Две равные  $\rho$ -группы:

$$\begin{cases} 4(x\rho - 2y) = 4x^2 - \rho^2 \\ 4x = -2\rho \end{cases}$$

$$-8x^2 - 8y = 4x^2 - 4x^2$$

$y = -x^2$  -  $\rho$ -груп. кривая с однородными решениями  $\Rightarrow$  группа однородных решений нет.

