

# 1 Линейный оператор

Пример.  $\triangleleft \mathbb{R}_2^2$   $\varphi : A \mapsto A^T$

$A_\varphi$ ? в стандартном базисе

Стандартный матричный базис:  $E_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$   $E_2 = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$   $E_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$   $E_4 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$

$$\varphi(E_1) = E_1 \Rightarrow A_{\varphi 1} = (1 \ 0 \ 0 \ 0)^T$$

$$\varphi(E_2) = E_3 \Rightarrow A_{\varphi 2} = (0 \ 0 \ 1 \ 0)^T$$

$$\varphi(E_3) = E_2 \Rightarrow A_{\varphi 3} = (0 \ 1 \ 0 \ 0)^T$$

$$\varphi(E_4) = E_4 \Rightarrow A_{\varphi 4} = (0 \ 0 \ 0 \ 1)^T$$

$$A_\varphi = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\text{Ker} \varphi = \{0\}$$

$$\text{Im} \varphi = \mathbb{R}_2^2$$

$$]M = \begin{bmatrix} \alpha & \beta \\ \gamma & \delta \end{bmatrix} \leftrightarrow (\alpha \ \beta \ \gamma \ \delta)^T = m$$

$\text{Ker} \varphi : A_\varphi m = 0$  — это СЛАУ

Заметим, что эта СЛАУ имеет только тривиальные решения  $\Rightarrow \dim \text{Ker} \varphi = 0 \Rightarrow \dim \text{Im} \varphi = \dim \mathbb{R}_2^2 - \dim \text{Ker} \varphi = 4 - 0 = 4$

Пример.  $\triangleleft \mathcal{P}_2^{x,y}$

$$\varphi p := x \frac{\partial p}{\partial x} + y \frac{\partial p}{\partial y}$$

$A_\varphi$ ? в базисе  $\{x^2 \ xy \ x^2\}$

$\text{Ker} \varphi$ ?

$$\varphi(x^2) = 2x^2 \quad \varphi(xy) = 2xy \quad \varphi(y^2) = 2y^2$$

$$A_\varphi = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 2 \end{bmatrix} \Rightarrow \text{Ker} \varphi = \{0\}$$

Пример.

$$\varphi p := y \frac{\partial p}{\partial x} - x \frac{\partial p}{\partial y}$$

$$\varphi(xy) = y^2 - x^2$$

$$\varphi(y^2) = -2xy$$

$$A_\varphi = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 2 & 0 & -2 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Найдём ядро:

$$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 2 & 0 & -2 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{cases} x_1 - x_3 = 0 \\ x_2 = 0 \end{cases}$$

ФСР:  $\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$

$$\text{Ker} \varphi = \mathcal{L}(x^2 + y^2)$$

Пример. Найти ядро и образ оператора  $\varphi$ , заданного в некотором базисе матрицей:

$$\varphi : X \simeq \mathbb{R}^5 \rightarrow Y \simeq \mathbb{R}^5$$

$$A_\varphi = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 2 & -1 \\ 2 & 1 & -2 & -1 & 1 \\ 3 & -1 & 0 & -1 & 1 \\ 1 & -2 & 2 & 0 & 0 \\ 2 & -2 & -1 & -3 & 2 \end{bmatrix} \sim \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & -1 & -4 & -5 & 3 \\ 3 & -4 & -3 & -7 & 4 \\ 1 & -3 & 1 & -2 & 1 \\ 2 & -4 & -3 & -7 & 4 \end{bmatrix} \sim \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 4 & 13 & -8 & 0 \\ 1 & 3 & 13 & -8 & 0 \\ 2 & 4 & 13 & -8 & 0 \end{bmatrix} \sim \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 2 & 1 & 0 \\ 3 & 4 & 1 \\ 1 & 3 & 1 \\ 2 & 4 & 1 \end{bmatrix}$$

Это базис  $\text{Im} \varphi$

Пример.  $\varphi : \mathbb{R}^5 \rightarrow \mathbb{R}^3$

$$A_\varphi = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 & 7 & 9 \\ 1 & -2 & 3 & -4 & 5 \\ 2 & 11 & 12 & 25 & 22 \end{bmatrix} \quad a = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{bmatrix}$$

Найдём прообраз  $a$

$$A_\varphi x = a$$

$$]x = (\xi^1 \quad \xi^2 \quad \xi^3 \quad \xi^4 \quad \xi^5)^T$$

СЛАУ:

$$\begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 & 7 & 9 & 1 \\ 1 & -2 & 3 & -4 & 5 & 2 \\ 2 & 11 & 12 & 25 & 22 & 1 \end{bmatrix}$$

Пример.  $\varphi: \mathbb{R}^4 \rightarrow \mathbb{R}^3$

$$A_\varphi = \begin{bmatrix} 3 & 1 & -2 & 4 \\ 2 & -3 & 6 & -5 \\ 8 & -1 & 2 & 3 \end{bmatrix} \quad L: \begin{cases} x_1 + x_2 = 0 \\ x_1 - x_3 = 0 \end{cases}$$

Найдем прообраз  $L$  — найдем ФСР  $L$  и полный прообраз каждого элемента ФСР.

Пример.  $\varphi: \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{C}_2^2$

$$(\xi^1 \quad \xi^2 \quad \xi^3)^T \mapsto \begin{bmatrix} \xi^3 & \xi^1 + i\xi^2 \\ \xi^1 - i\xi^3 & -\xi^3 \end{bmatrix}$$

$$\text{Ker} \varphi = \{0\}$$

$$A_\varphi?$$

$$C_2^2 = \left\{ \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 & i \\ -i & 0 \end{bmatrix} \right\}$$

$$\varphi(e_1) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad \varphi(e_2) = \begin{bmatrix} 0 & i \\ -i & 0 \end{bmatrix} \quad \varphi(e_3) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$$