

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет водного господарства та  
природокористування  
Навчально-науковий інститут автоматики, кібернетики та  
обчислювальної техніки  
Кафедра вищої математики

**04-02-57М**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
до самостійної роботи  
та підготовки до практичних занять  
з навчальної дисципліни «**Вища математика**»  
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня  
за освітньо-професійною програмою «Екологія»  
спеціальності 101 «Екологія»  
денної і заочної форм навчання  
Частина 1

Рекомендовано науково-  
методичною радою з якості  
ННІАЗ  
Протокол № 12 від 20.06.2023 р.

Методичні вказівки до самостійної роботи та підготовки до практичних занять з навчальної дисципліни «Вища математика» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Екологія» спеціальності 101 «Екологія» денної та заочної форм навчання. Частина 1 [Електронне видання] / Цецик С. П., Самолюк І. В. – Рівне : НУВГП, 2023. – 111 с.

Укладачі:

Цецик С. П., – к.пед.н., доцент кафедри вищої математики;

Самолюк І. В. – асистент кафедри вищої математики.

Відповідальний за випуск: Тадеєв П. О., к.фіз.-мат.н., д.пед.н., професор, завідувач кафедри вищої математики.

Керівник (гарант) освітньої програми: Клименко Л. В., доцент кафедри туризму та готельно-ресторанної справи, к.с.-г.н., доцент.

© С. П. Цецик,  
І. В. Самолюк, 2023  
©НУВГП, 2023

## ЗМІСТ

Вступ	4
1. Програма навчальної дисципліни	5
2. Мета та завдання навчальної дисципліни	5
3. Програмні результати навчання	6
4. Компетентності здобувача	6
5. Короткі теоретичні відомості	7
6. Теми практичних занять	22
Тема 1. Елементи лінійної і векторної алгебри	22
Тема 2. Елементи аналітичної геометрії	36
Тема 3. Вступ до математичного аналізу	47
Тема 4. Диференціальне числення функції однієї змінної	56
Тема 5. Функцій декількох змінних	62
7. Завдання для самостійної роботи	70
8. Відповіді до завдань для самоконтролю	108
9. Використана та рекомендована література	110

## Вступ

Методичні вказівки до самостійної роботи та підготовки до практичних занять навчальної дисципліни «Вища математика» складені відповідно до освітньо-професійної програми «Екологія» спеціальності 101 «Екологія» за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти, затвердженої Вченою радою НУВГП, протокол № 8 від 25.06.2021 р.

Знання та навички, отримані під час вивчення дисципліни, допоможуть здобувачам вищої освіти оволодіти компетентностями з дисциплін: «Фізика», «Основи цифрових технологій», «Землезнавство», «Загальна екологія (та неоекологія)», «Метрологія і стандартизація», «Гідроекологія».

У методичних вказівках подано короткі теоретичні відомості, необхідні для розв'язання задач з чотирьох розділів курсу вищої математики: «Елементи лінійної і векторної алгебри», «Елементи аналітичної геометрії», «Вступ до математичного аналізу», «Диференціальне числення функції однієї змінної», «Диференціальне числення функцій декількох змінних». Вони представлені у вигляді таблиць, що сприяє систематизації й узагальненню знань з навчального предмету.

Також наведено приклади розв'язання типових задач, що виносяться на модульні контролі та самостійні роботи. Для закріплення здобутих студентами знань і формування навичок розв'язання задач, наведено завдання для самоконтролю та самостійної роботи.

## 1. Програма навчальної дисципліни

Ступінь вищої освіти	<i>бакалавр</i>	
Освітня програма	Екологія	
Спеціальність	101 Екологія	
Рік навчання, семестр	<i>1-й рік, 1 семестр</i>	<i>1-й рік, 2 семестр</i>
Кількість кредитів	<i>3</i>	<i>3</i>
Всього кредитів	<i>6</i>	
Лекції:	<i>16 годин/2 години</i>	<i>16 годин/ -</i>
Практичні заняття:	<i>16 годин/8 годин</i>	<i>16 годин/ 8 годин</i>
Самостійна робота:	<i>58 годин/ 80 годин</i>	<i>58 годин/ 82 години</i>
Курсова робота:	<i>ні</i>	<i>ні</i>
Форма навчання	<i>денна / заочна</i>	
Форма підсумкового контролю	<i>залік</i>	<i>екзамен</i>
Мова викладання	<i>українська</i>	

## 2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Метою викладання дисципліни є: формування особистості студентів, розвиток їх інтелекту, аналітичного та синтетичного мислення, відповідної математичної культури, інтуїції; оволодіння математичним апаратом, необхідним для вивчення спеціальних дисциплін, розвиток здібностей свідомого сприйняття математичного матеріалу, характерного для спеціальності «Екологія» та формування вмінь: застосовувати теоретичні знання до аналізу, моделювання та розв'язання задач прикладного характеру у межах своєї майбутньої спеціальності; формулювати, записувати, інтерпретувати отримані результати з урахуванням змісту поставленої проблеми.

Основним завданням вивчення дисципліни є формування теоретичних знань та практичних навичок у відповідності до поставленої мети.

### **3. Програмні результати навчання**

Відповідно до освітньо-професійної програми «Екологія» спеціальності 101 «Екологія» за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти навчальна компонента спрямована на те, щоб за її результатами студенти могли:

ПР03. Розуміти основні концепції, теоретичні та практичні проблеми в галузі природничих наук, що необхідні для аналізу і прийняття рішень в сфері екології, охорони довкілля та оптимального природокористування.

ПР19. Підвищувати професійний рівень шляхом продовження освіти та самоосвіти.

ПР21. Уміти обирати оптимальні методи та інструментальні засоби для проведення досліджень, збору та обробки даних.

### **4. Компетентності здобувача**

ЗК02. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.

ЗК 08. Здатність проведення досліджень на відповідному рівні.

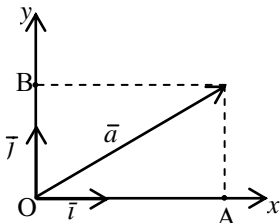
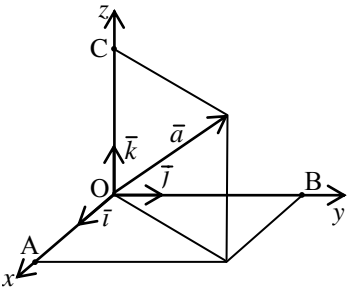
ФК02. Здатність до критичного осмислення основних теорій, методів та принципів природничих наук.

ФК03. Розуміння основних теоретичних положень, концепцій та принципів математичних та соціально-економічних наук.

## 5. Короткі теоретичні відомості

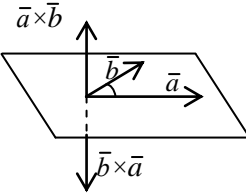
Елементи лінійної алгебри та аналітичної геометрії

Назва	Формули та позначення
Визначник 2-го порядку	$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix} = a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21}$
Визначник 3-го порядку	$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} = a_{11}a_{22}a_{33} + a_{12}a_{23}a_{31} +$ $+ a_{13}a_{21}a_{32} - a_{13}a_{22}a_{31} - a_{11}a_{23}a_{32} - a_{12}a_{21}a_{33}$
Визначник 3-го порядку у вигляді розкладу його за елементами першого рядка	$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} = a_{11}A_{11} + a_{12}A_{12} + a_{13}A_{13}$
$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 = b_1; \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 = b_2; \\ a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 = b_3. \end{cases}$	<p>Формули Крамера</p> $x_1 = \frac{\Delta_{x_1}}{\Delta}; \quad x_2 = \frac{\Delta_{x_2}}{\Delta}; \quad x_3 = \frac{\Delta_{x_3}}{\Delta},$ <p>де</p> $\Delta = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} \neq 0; \quad \Delta_{x_1} = \begin{vmatrix} b_1 & a_{12} & a_{13} \\ b_2 & a_{22} & a_{23} \\ b_3 & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix};$ $\Delta_{x_2} = \begin{vmatrix} a_{11} & b_1 & a_{13} \\ a_{21} & b_2 & a_{23} \\ a_{31} & b_3 & a_{33} \end{vmatrix}; \quad \Delta_{x_3} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & b_1 \\ a_{21} & a_{22} & b_2 \\ a_{31} & a_{32} & b_3 \end{vmatrix}$

Розклад вектора за базисом	
Алгебраїчний запис	Геометрична ілюстрація
$\vec{a} = x\vec{i} + y\vec{j}$	 <p> <math>x = OA = \text{пр}_{Ox} \vec{a}</math>,  <math>y = OB = \text{пр}_{Oy} \vec{a}</math> </p>
$\vec{a} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$	 <p> <math>x = OA = \text{пр}_{Ox} \vec{a}</math>,  <math>y = OB = \text{пр}_{Oy} \vec{a}</math>,  <math>z = OC = \text{пр}_{Oz} \vec{a}</math>  <math>\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}</math> – орти         </p>

Лінійні операції над векторами, заданими в координатній формі	
Назва операції	Виконання операції
Додавання векторів $\vec{a}$ та $\vec{b}$	$\vec{a} + \vec{b} = (x_1; y_1; z_1) + (x_2; y_2; z_2) = (x_1 + x_2; y_1 + y_2; z_1 + z_2)$
Віднімання векторів $\vec{a}$ та $\vec{b}$	$\vec{a} - \vec{b} = (x_1; y_1; z_1) - (x_2; y_2; z_2) = (x_1 - x_2; y_1 - y_2; z_1 - z_2)$
Множення вектора $\vec{a}$ на скаляр $\lambda$	$\lambda \vec{a} = \lambda(x_1; y_1; z_1) = (\lambda x_1; \lambda y_1; \lambda z_1)$
Лінійна комбінація векторів $\vec{a}$ та $\vec{b}$	$\lambda_1 \vec{a} + \lambda_2 \vec{b} = \lambda_1(x_1; y_1; z_1) + \lambda_2(x_2; y_2; z_2) = (\lambda_1 x_1 + \lambda_2 x_2; \lambda_1 y_1 + \lambda_2 y_2; \lambda_1 z_1 + \lambda_2 z_2)$

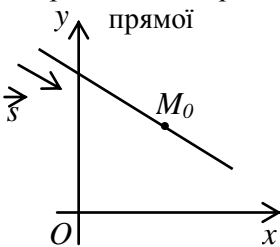
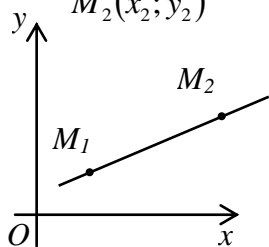


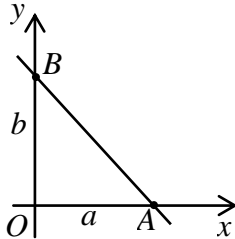
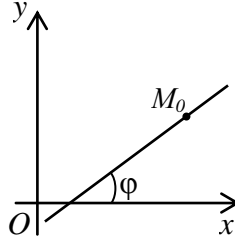
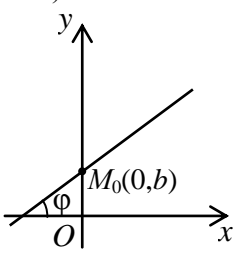
<b>Основні види добутків векторів</b>			
$\vec{a} = (x_1; y_1; z_1); \vec{b} = (x_2; y_2; z_2); \vec{c} = (x_3; y_3; z_3)$			
Назва і позначення	Означення	Координатна форма	Результат
Скалярний добуток векторів $\vec{a}$ та $\vec{b}$ : $\vec{a} \cdot \vec{b}$	$\vec{a} \cdot \vec{b}$ $=  \vec{a}   \vec{b}  \cos(\widehat{\vec{a}, \vec{b}})$ або $\vec{a} \cdot \vec{b} =  \vec{a}  n_{p_{\vec{a}}} \vec{b} =$ $=  \vec{b}  n_{p_{\vec{b}}} \vec{a}$	$\vec{a} \cdot \vec{b} = x_1 x_2 + y_1 y_2 + z_1 z_2$	число
Векторний добуток: $\vec{c} = \vec{a} \times \vec{b}$	1. $\vec{c} \perp \vec{a}, \vec{c} \perp \vec{b}$ ; 2. $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$ - права трійка;    3. $ \vec{c}  =  \vec{a}   \vec{b}  \sin(\widehat{\vec{a}, \vec{b}})$	$\vec{a} \times \vec{b} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ x_1 & y_1 & z_1 \\ x_2 & y_2 & z_2 \end{vmatrix}$  або $\vec{a} \times \vec{b} = \begin{vmatrix} y_1 & z_1 \\ y_2 & z_2 \end{vmatrix} \vec{i} -$ $- \begin{vmatrix} x_1 & z_1 \\ x_2 & z_2 \end{vmatrix} \vec{j} + \begin{vmatrix} x_1 & y_1 \\ x_2 & y_2 \end{vmatrix} \vec{k}$	вектор
Мішаний добуток векторів $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$ : $\vec{a} \vec{b} \vec{c}$	$\vec{a} \vec{b} \vec{c} = (\vec{a} \times \vec{b}) \vec{c}$	$\vec{a} \vec{b} \vec{c} = \begin{vmatrix} x_1 & y_1 & z_1 \\ x_2 & y_2 & z_2 \\ x_3 & y_3 & z_3 \end{vmatrix}$	число

<b>Основні формули векторної алгебри, які використовують для обчислення геометричних величин</b> $(\vec{a} = (x_1; y_1; z_1), \vec{b} = (x_2; y_2; z_2), \vec{c} = (x_3; y_3; z_3))$		
Назва	Векторна форма	Координатна форма
1	2	3
Довжина вектора $\vec{a}$	$ \vec{a}  = \sqrt{\vec{a} \cdot \vec{a}} = \sqrt{a^2}$	$ \vec{a}  = \sqrt{x_1^2 + y_1^2 + z_1^2}$
Орт вектора $\vec{a}$	$\vec{a}^0 = \frac{\vec{a}}{ \vec{a} }$	$\vec{a}^0 = \left( \frac{x_1}{ \vec{a} }; \frac{y_1}{ \vec{a} }; \frac{z_1}{ \vec{a} } \right)$
Напрямні косинуси вектора $\vec{a}$	$\cos \alpha = \frac{\vec{a} \cdot \vec{i}}{ \vec{a} },$ $\cos \beta = \frac{\vec{a} \cdot \vec{j}}{ \vec{a} },$ $\cos \gamma = \frac{\vec{a} \cdot \vec{k}}{ \vec{a} }$ $(\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + \cos^2 \gamma = 1)$	$\cos \alpha = \frac{x_1}{\sqrt{x_1^2 + y_1^2 + z_1^2}},$ $\cos \beta = \frac{y_1}{\sqrt{x_1^2 + y_1^2 + z_1^2}},$ $\cos \gamma = \frac{z_1}{\sqrt{x_1^2 + y_1^2 + z_1^2}}$
Косинус кута між векторами $\vec{a}$ та $\vec{b}$	$\cos(\vec{a}, \vec{b}) = \frac{\vec{a} \cdot \vec{b}}{ \vec{a}   \vec{b} }$	$\cos(\vec{a}, \vec{b}) =$ $= \frac{x_1 x_2 + y_1 y_2 + z_1 z_2}{\sqrt{x_1^2 + y_1^2 + z_1^2} \sqrt{x_2^2 + y_2^2 + z_2^2}}$
Площа трикутника $ABC$	$S_{\Delta ABC} = \frac{1}{2}  \vec{a} \times \vec{b} ,$ де $\vec{a} = \overrightarrow{AB},$ $\vec{b} = \overrightarrow{AC}$	$S_{\Delta ABC} =$ $= \frac{1}{2} \sqrt{\begin{vmatrix} y_1 & z_1 \\ y_2 & z_2 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} x_1 & z_1 \\ x_2 & z_2 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} x_1 & y_1 \\ x_2 & y_2 \end{vmatrix}^2}$

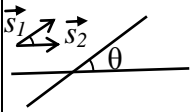
1	2	3
Об'єм трикутно ї піраміди $SABC$	$V_{nip} = \frac{1}{6} \text{mod}(\vec{a}\vec{b}\vec{c})$ $(\vec{a} = \vec{AB}, \vec{b} = \vec{AC}, \vec{c} = \vec{AS})$	$V_{nip} = \frac{1}{6} \text{mod} \begin{vmatrix} x_1 & y_1 & z_1 \\ x_2 & y_2 & z_2 \\ x_3 & y_3 & z_3 \end{vmatrix}$

### Елементи аналітичної геометрії

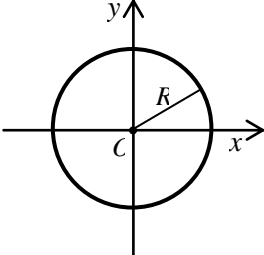
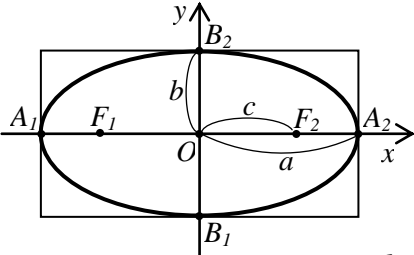
Види рівнянь прямої на площині		
Вихідні дані	Вид рівняння	Назва рівняння
1	2	3
<p><math>M_0(x_0; y_0)</math> – точка прямої; <math>\vec{s} = (m; n)</math> – напрямний вектор прямої</p> 	$\vec{r} = \vec{r}_0 + t\vec{s}$ $\begin{cases} x = x_0 + tm; \\ y = y_0 + tn, \end{cases}$ $-\infty < t < +\infty$ $\frac{x - x_0}{m} = \frac{y - y_0}{n}$	<p>Векторне рівняння прямої</p> <p>Параметричні рівняння прямої</p> <p>Канонічне рівняння прямої</p>
<p>Дві точки прямої <math>M_1(x_1; y_1)</math>, <math>M_2(x_2; y_2)</math></p> 	$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1}$	<p>Рівняння прямої, що проходить через дві точки</p>

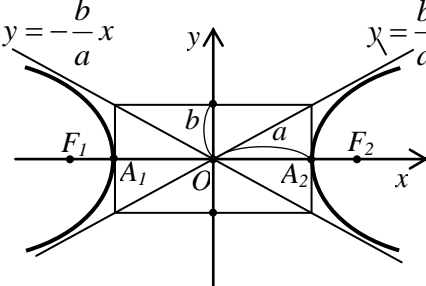
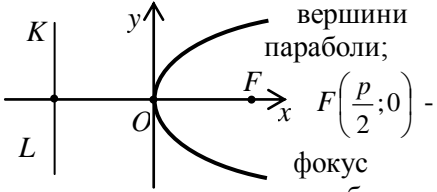
1	2	3
 <p>Точки <math>A(a;0)</math> і <math>B(0;b)</math> прямої розміщені на координатних осях</p>	$\frac{x}{a} + \frac{y}{b} = 1$	<p>Рівняння прямої у відрізках на осях</p>
<p>Точка <math>M_0(x_0; y_0)</math> прямої; кут <math>\varphi</math>, який утворює пряма з додатним напрямом осі <math>Ox</math></p> <p>а)</p>  <p>б)</p> 	<p>а) <math>y - y_0 = k(x - x_0)</math>, <math>k = \operatorname{tg}\varphi</math></p> <p>б) <math>y = kx + b</math>, <math>k = \operatorname{tg}\varphi</math></p>	<p>Рівняння прямої з кутовим коефіцієнтом</p>

1	2	3
Точка $M_0(x_0; y_0)$ прямої; вектор $\vec{n} = (A; B)$ , перпендикулярний до прямої	$A(x - x_0) +$ $+ B(y - y_0) = 0$  $Ax + By + C = 0$	Рівняння прямої, що проходить через задану точку перпендикулярн о до вектора $\vec{n}$  Загальне рівняння прямої

Взаємне розміщення двох прямих на площині			
Вихідні дані	Кут між прямими	Умова паралельності прямих	Умова перпендикулярності прямих
1	2	3	4
$\vec{s}_1 = (m_1; n_1)$ , $\vec{s}_2 = (m_2; n_2)$ - напрявні вектори прямих  	$\cos \theta = \frac{ \vec{s}_1 \cdot \vec{s}_2 }{ \vec{s}_1   \vec{s}_2 } =$ $= \frac{ m_1 m_2 + n_1 n_2 }{\sqrt{m_1^2 + n_1^2} \sqrt{m_2^2 + n_2^2}}$	$\frac{m_1}{m_2} = \frac{n_1}{n_2}$	$\vec{s}_1 \cdot \vec{s}_2 = 0$ $\Leftrightarrow$ $m_1 m_2 + n_1 n_2 = 0$
$\vec{n}_1 = (A_1; B_1)$ , $\vec{n}_2 = (A_2; B_2)$ - вектори нормалей прямих	$\cos \theta = \frac{ \vec{n}_1 \cdot \vec{n}_2 }{ \vec{n}_1   \vec{n}_2 } =$ $= \frac{ A_1 A_2 + B_1 B_2 }{\sqrt{A_1^2 + B_1^2} \sqrt{A_2^2 + B_2^2}}$	$\frac{A_1}{A_2} = \frac{B_1}{B_2}$	$\vec{n}_1 \cdot \vec{n}_2 = 0$ $\Leftrightarrow$ $A_1 A_2 + B_1 B_2 = 0$

1	2	3	4
$k_1, k_2$ – кутові коефіцієнти прямих	$\operatorname{tg} \theta = \left  \frac{k_2 - k_1}{1 + k_1 k_2} \right $ $k_1 = \operatorname{tg} \varphi_1,$ $k_2 = \operatorname{tg} \varphi_2$	$k_1 = k_2$	$k_1 k_2 = -1$

Канонічні рівняння кривих другого порядку		
Назва кривої	Геометричне зображення у прямокутній системі координат і основні характеристики кривої	Канонічне рівняння кривої та основні залежності між параметрами
1	2	3
Коло	 <p><math>O</math> – центр кола; <math>R</math> – радіус кола.</p>	$x^2 + y^2 = R^2,$ $R$ – радіус
Еліпс	 <p> <math>A_1(-a; 0), A_2(a; 0), B_1(0; -b), B_2(0; b)</math> – вершини еліпса;  <math>F_1(-c; 0), F_2(c; 0)</math> – фокуси еліпса         </p>	$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1,$ $a$ – велика піввісь; $b$ – мала піввісь ( $b < a$ ); $c$ – фокальна піввісь; $c^2 = a^2 - b^2$ ; ексцентриситет $\varepsilon = \frac{c}{a}, 0 < \varepsilon < 1;$

1	2	3
Гіпербола	 <p> <math>A_1(-a; 0), A_2(a; 0)</math> – вершини гіперболи;  <math>F_1(-c; 0), F_2(c; 0)</math> – фокуси гіперболи </p>	$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1,$ <p> <math>a</math> – дійсна піввісь;  <math>b</math> – уявна піввісь;  <math>c</math> – фокальна піввісь;  <math>c^2 = a^2 + b^2</math>;  екцентриситет <math>\varepsilon = \frac{c}{a}, \varepsilon &gt; 1</math>;  рівняння асимптот:  <math>y = \pm \frac{b}{a} x</math> </p>
Парабола	 <p> <math>O(0;0)</math> – вершини парабол;  <math>F\left(\frac{p}{2}; 0\right)</math> – фокус парабол;  <math>KL</math> – директриса парабол </p>	$y^2 = 2px,$ <p> <math>p = FL</math> – параметр парабол;  екцентриситет <math>\varepsilon = 1</math>;  рівняння директриси:  <math>x = -\frac{p}{2}</math> </p>

## Вступ до математичного аналізу

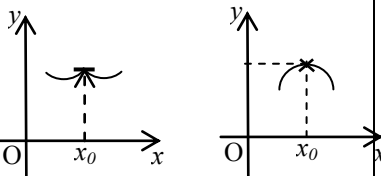
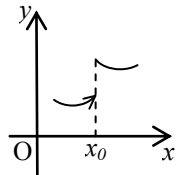
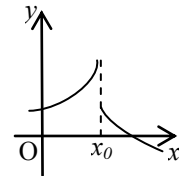
<b>Основні теореми про границі</b>	
<b>Якщо існують <math>\lim_{x \rightarrow a} f(x)</math> і <math>\lim_{x \rightarrow a} \varphi(x)</math>, то мають місце теореми:</b>	<b>Аналітичний запис</b>
Границя алгебраїчної суми двох (скінченної кількості) функцій дорівнює алгебраїчній сумі границь цих функцій.	$\lim_{x \rightarrow a} (f(x) \pm \varphi(x)) =$ $= \lim_{x \rightarrow a} f(x) \pm \lim_{x \rightarrow a} \varphi(x)$
Границя добутку двох (скінченної кількості) функцій дорівнює добутку границь цих функцій.	$\lim_{x \rightarrow a} (f(x) \cdot \varphi(x)) =$ $= \lim_{x \rightarrow a} f(x) \cdot \lim_{x \rightarrow a} \varphi(x)$
Границя частки двох (скінченної кількості) функцій дорівнює частці границь цих функцій за умови, що границя дільника не дорівнює нулеві	$\lim_{x \rightarrow a} \frac{f(x)}{\varphi(x)} = \frac{\lim_{x \rightarrow a} f(x)}{\lim_{x \rightarrow a} \varphi(x)},$ <p style="text-align: center;">якщо <math>\lim_{x \rightarrow a} \varphi(x) \neq 0</math></p>
Сталий множник можна виносити за знак границі.	$\lim_{x \rightarrow a} kf(x) = k \lim_{x \rightarrow a} f(x)$ <p style="text-align: center;"><math>(k = const)</math></p>
Границя цілого додатного степеня функції дорівнює тому ж степеню границі функції.	$\lim_{x \rightarrow a} (f(x))^n = \left( \lim_{x \rightarrow a} f(x) \right)^n$



<b>Визначні границі та їх наслідки</b>	
<b>Назва</b>	<b>Аналітичний запис</b>
Перша визначна границя	$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin x}{x} = 1$
Наслідки	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <math>\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin kx}{x} = k, k \neq 0.</math></li> <li>2. <math>\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\operatorname{tg} x}{x} = 1.</math></li> <li>3. <math>\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\operatorname{tg} kx}{x} = k, k \neq 0.</math></li> <li>4. <math>\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\arcsin x}{x} = 1.</math></li> <li>5. <math>\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\operatorname{arctg} x}{x} = 1.</math></li> </ol>
Друга визначна границя	$\lim_{x \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{x}\right)^x = e, \text{ де } e = 2,718281\dots$
Наслідки	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <math>\lim_{x \rightarrow 0} (1 + x)^{\frac{1}{x}} = e.</math></li> <li>2. <math>\lim_{x \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{k}{x}\right)^x = e^k.</math></li> </ol>

<b>Неперервність функції в точці</b>	
<b>Назва поняття</b>	<b>Означення</b>
1	2
$x_0$ – точка неперервності функції $f(x)$	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <math>f(x)</math> визначена в точці <math>x_0</math> і в деякому її околі.</li> <li>2. Існує <math>\lim_{x \rightarrow x_0} f(x)</math></li> </ol>
	3. Виконується рівність

	$\lim_{x \rightarrow x_0} f(x) = f(x_0).$
$x_0$ – точка розриву функції $f(x)$	Не виконується одна з умов 1-3.

<b>Класифікація точок розриву функції</b>	
<b>Назва</b>	<b>Означення</b>
<p><math>x_0</math> – точка розриву першого роду:</p> <p>а) усувний розрив</p> 	<p><math>\lim_{x \rightarrow x_0+0} f(x) = \lim_{x \rightarrow x_0-0} f(x)</math>, але <math>f(x_0)</math> невизначена або</p> <p><math>\lim_{x \rightarrow x_0} f(x) \neq f(x_0)</math></p>
<p>б) неусувний розрив (розрив типу „стрибка”)</p> 	<p><math>\lim_{x \rightarrow x_0+0} f(x) \neq \lim_{x \rightarrow x_0-0} f(x)</math>, але обидві границі скінченні</p>
<p><math>x_0</math> – точка розриву другого роду</p> 	<p>Хоча б одна з границь <math>\lim_{x \rightarrow x_0+0} f(x)</math>, <math>\lim_{x \rightarrow x_0-0} f(x)</math> не існує або дорівнює нескінченності.</p>

## Диференціальне числення функції однієї змінної

Назва поняття, позначення	Означення	Аналітичний запис
Похідна функції $y=f(x)$ в точці $x$ (похідна першого порядку); $y', f'(x), y'_x,$ $\frac{dy}{dx}, \frac{df}{dx}$	Похідною функції $y=f(x)$ в точці $x$ називається границя відношення приросту функції $\Delta y$ в цій точці до приросту аргументу $\Delta x$ , коли приріст аргументу прямує до нуля.	$f'(x) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta y}{\Delta x} =$ $= \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{f(x + \Delta x) - f(x)}{\Delta x}$

### Правила диференціювання

Нехай  $u(x)$  та  $v(x)$  – деякі диференційовні функції,  $c$ - стала, тоді:

- |   |  |
|---|--|
| 1. $c' = 0$ ;<br>2. $(x)' = 1$ ;<br>3. $(cu)' = cu'$ ;<br>4. $(u \pm v)' = u' \pm v'$ ;<br> | 5. $(uv)' = u'v + uv'$ ;<br>6. $\left(\frac{u}{v}\right)' = \frac{u'v - uv'}{v^2}, v \neq 0$ ;<br>7. $\left(\frac{u}{c}\right)' = \frac{u'}{c}$ ;<br>8. $\left(\frac{c}{v}\right)' = -\frac{cv'}{v^2}, v \neq 0$ ;<br> |
|---|--|

### *Правило диференціювання складеної функції.*

Якщо  $y=f(u)$  і  $u=u(x)$ , тобто  $y=f(u(x))$ , де функції  $f$  і  $u$  – мають похідні, то  $y'_x = f'_u \cdot u'_x$ .

<b>Таблиця похідних</b>	
<i>елементарних функцій</i>	<i>складеної диференційовної функції <math>u=u(x)</math></i>
1. $(x^\alpha)' = \alpha \cdot x^{\alpha-1};$	$(u^\alpha)' = \alpha \cdot u^{\alpha-1} \cdot u';$
2. $(\sqrt{x})' = \frac{1}{2\sqrt{x}};$	$(\sqrt{u})' = \frac{1}{2\sqrt{u}} \cdot u';$
3. $\left(\frac{1}{x}\right)' = -\frac{1}{x^2};$	$\left(\frac{1}{u}\right)' = -\frac{1}{u^2} \cdot u';$
4. $(a^x)' = a^x \ln a;$	$(a^u)' = a^u \ln a \cdot u';$
5. $(e^x)' = e^x;$	$(e^u)' = e^u \cdot u';$
6. $(\log_a x)' = \frac{1}{x \ln a};$	$(\log_a u)' = \frac{1}{u \ln a} \cdot u';$
7. $(\ln x)' = \frac{1}{x};$	$(\ln u)' = \frac{1}{u} \cdot u';$
<i>1</i>	<i>2</i>
8. $(\sin x)' = \cos x;$	$(\sin u)' = \cos u \cdot u';$
9. $(\cos x)' = -\sin x;$	$(\cos u)' = -\sin u \cdot u';$
10. $(\operatorname{tg} x)' = \frac{1}{\cos^2 x};$	$(\operatorname{tg} u)' = \frac{1}{\cos^2 u} \cdot u';$
11. $(\operatorname{ctg} x)' = -\frac{1}{\sin^2 x};$	$(\operatorname{ctg} u)' = -\frac{1}{\sin^2 u} \cdot u';$
12. $(\arcsin x)' = \frac{1}{\sqrt{1-x^2}};$	$(\arcsin u)' = \frac{1}{\sqrt{1-u^2}} \cdot u';$
13. $(\arccos x)' = -\frac{1}{\sqrt{1-x^2}};$	$(\arccos u)' = -\frac{1}{\sqrt{1-u^2}} \cdot u';$
14. $(\operatorname{arctg} x)' = \frac{1}{1+x^2};$	$(\operatorname{arctg} u)' = \frac{1}{1+u^2} \cdot u';$
15. $(\operatorname{arcctg} x)' = -\frac{1}{1+x^2};$	$(\operatorname{arcctg} u)' = -\frac{1}{1+u^2} \cdot u'.$

### Таблиця диференціалів

Нехай  $u=u(x)$  – диференційовна функція, тоді:

1	2
1. $d(u^\alpha) = \alpha u^{\alpha-1} du;$	9. $d(\cos u) = -\sin u du;$
2. $d\left(\frac{1}{u}\right) = -\frac{1}{u^2} du;$	10. $d(\operatorname{tgu}) = \frac{du}{\cos^2 u};$
3. $d(\sqrt{u}) = \frac{du}{2\sqrt{u}};$	11. $d(\operatorname{ctgu}) = -\frac{du}{\sin^2 u};$
4. $d(a^u) = a^u \ln a du;$	12. $d(\arcsin u) = \frac{du}{\sqrt{1-u^2}};$
5. $d(e^u) = e^u du;$	13. $d(\arccos u) = -\frac{du}{\sqrt{1-u^2}};$
6. $d(\ln u) = \frac{du}{u};$	14. $d(\operatorname{arctgu}) = \frac{du}{1+u^2};$
1	2
7. $d(\log_a u) = \frac{du}{u \ln a};$	15. $d(\operatorname{arcctgu}) = -\frac{du}{1+u^2}.$
8. $d(\sin u) = \cos u du;$	

## 6. Теми практичних занять

### Тема 1. Елементи лінійної і векторної алгебри

Визначники другого і третього порядків визначаються рівностями:

$$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix} = a_{11}a_{22} - a_{21}a_{12},$$

$$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} = a_{11}a_{22}a_{33} + a_{12}a_{23}a_{31} + a_{21}a_{32}a_{13} - a_{31}a_{22}a_{13} - a_{32}a_{23}a_{11} - a_{21}a_{12}a_{33}$$

Числа  $a_{ij}$  ( $i, j = 1, 2, 3$ ) називаються елементами визначника. Мінором будь-якого елемента  $a_{ij}$  називається визначник  $M_{ij}$ , одержаний з даного визначника, що не містить рядка і стовпця на перетині яких знаходиться цей елемент. Алгебраїчним доповненням елемента  $a_{ij}$  визначника є число  $A_{ij} = (-1)^{i+j} \cdot M_{ij}$ .

Визначник дорівнює сумі добутків елементів будь-якого рядка (стовпця) на їх відповідні алгебраїчні доповнення. Це можна використовувати як ще один метод обчислення визначників.

В багатьох випадках спрощує обчислення визначників використання властивостей визначника, зокрема, спільний множник всіх елементів деякого рядка або стовпця можна винести за знак визначника, якщо відповідні елементи двох рядків чи стовпців пропорційні, то визначник дорівнює нулю; якщо всі елементи деякого рядка або стовпця визначника задані у вигляді суми двох елементів, то визначник можна представити у вигляді суми двох визначників, в одному з яких елементи відповідного рядка чи стовпця є першими доданками, а в другому – другими доданками; якщо до елементів будь-якого рядка чи стовпця додати відповідні елементи іншого рядка або стовпця, помножені на одне і те ж число, то визначник не змінить своєї величини.

Розглянемо систему лінійних алгебраїчних рівнянь

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 = b_1, \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 = b_2, \\ a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 = b_3. \end{cases}$$

Якщо визначник системи

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} \neq 0,$$

То дана система має єдиний розв'язок  $\{x_1, x_2, x_3\}$ , який знаходиться за формулами Крамера:

$$x_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta}; \quad x_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta}; \quad x_3 = \frac{\Delta_3}{\Delta},$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} b_1 & a_{12} & a_{13} \\ b_2 & a_{22} & a_{23} \\ b_3 & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix}, \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} a_{11} & b_1 & a_{13} \\ a_{21} & b_2 & a_{23} \\ a_{31} & b_3 & a_{33} \end{vmatrix}, \quad \Delta_3 = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & b_1 \\ a_{21} & a_{22} & b_2 \\ a_{31} & a_{32} & b_3 \end{vmatrix}.$$

**Приклад 1.** Обчислити визначник

$$\Delta = \begin{vmatrix} -3 & 5 \\ 2 & 4 \end{vmatrix}.$$

**Розв'язання.**  $\Delta = (-3) \cdot 4 - 2 \cdot 5 = -22$ .

**Приклад 2.** Обчислити мінор  $M_{12}$  і алгебраїчне доповнення  $A_{12}$  визначника третього порядку

$$\Delta = \begin{vmatrix} 3 & -4 & 5 \\ 2 & 3 & 6 \\ 7 & 2 & -5 \end{vmatrix}.$$

**Розв'язання.**

$$M_{12} = \begin{vmatrix} 2 & 6 \\ 7 & -5 \end{vmatrix} = -10 - 42 = -52,$$

$$A_{12} = (-1)^{1+2} M_{12} = (-1)^3 M_{12} = -1 \cdot (-52) = 52.$$

**Приклад 3.** Обчислити визначник третього порядку

$$\Delta = \begin{vmatrix} 3 & 4 & 2 \\ -1 & 2 & 5 \\ 6 & -3 & 8 \end{vmatrix}$$

безпосередньо та розкладом за елементами першого рядка.

**Розв'язання.**

$$\Delta = 3 \cdot 2 \cdot 8 + 4 \cdot 5 \cdot 6 + (-1) \cdot (-3) \cdot 2 - 6 \cdot 2 \cdot 2 - 4 \cdot (-1) \cdot 8 - (-3) \cdot 5 \cdot 3 = 227$$

Той самий результат отримаємо якщо розкласти даний визначник за елементами першого рядка:

$$\begin{aligned} \Delta &= 3 \cdot A_{11} + 4 \cdot A_{12} + 2 \cdot A_{13} = 3 \cdot (-1)^{1+1} \begin{vmatrix} 2 & 5 \\ -3 & 8 \end{vmatrix} + 4 \cdot (-1)^{1+2} \begin{vmatrix} -1 & 5 \\ 6 & 8 \end{vmatrix} + \\ &+ 2 \cdot (-1)^{1+3} \begin{vmatrix} -1 & 2 \\ 6 & -3 \end{vmatrix} = 3 \cdot 31 - 4 \cdot (-38) + 2 \cdot (-9) = 227. \end{aligned}$$

Користуючись властивістю незмінності визначника при додаванні до елементів деякого рядка (стовпця) відповідних елементів іншого рядка (стовпця) помножених на одне і те ж число, можна заданий визначник звести до визначника у якому всі елементи будь-якого рядка (стовпця), крім одного, будуть рівні нулю.

**Приклад 4.** Розв'язати систему рівнянь за формулами Крамера

$$\begin{cases} x_1 - 2x_2 + x_3 = 8, \\ 3x_1 + 4x_2 + 2x_3 = 3, \\ 2x_1 + x_2 - 3x_3 = 1. \end{cases}$$

**Розв'язання.** Знайдемо визначник системи:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 & -2 & 1 \\ 3 & 4 & 2 \\ 2 & 1 & -3 \end{vmatrix} = -12 - 8 + 3 - 8 - 2 - 18 = -45 \neq 0,$$

отже, система має єдиний розв'язок.



$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 8 & -2 & 1 \\ 3 & 4 & 2 \\ 1 & 1 & -3 \end{vmatrix} = -96 + 3 - 4 - 4 - 16 - 18 = -135;$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 1 & 8 & 1 \\ 3 & 3 & 2 \\ 2 & 1 & -3 \end{vmatrix} = -9 + 32 + 3 - 6 - 2 + 72 = 90;$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 1 & -2 & 8 \\ 3 & 4 & 3 \\ 2 & 1 & 1 \end{vmatrix} = 4 - 12 + 24 - 64 - 3 + 6 = -45.$$

За формулами Крамера:

$$x_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{-135}{-45} = 3; \quad x_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{90}{-45} = -2;$$

$$x_3 = \frac{\Delta_3}{\Delta} = \frac{-45}{-45} = 1.$$

Розв'язок системи:  $\{(3; -2; 1)\}$ .

Впорядкована таблиця чисел, що містить  $m$  рядків і  $n$  стовпців називається матрицею і записується у вигляді:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix}.$$

Пара чисел  $(m, n)$  визначає розмір матриці. Якщо  $m \neq n$ , то матриця називається прямокутною. Якщо  $m = n$ , то матриця називається квадратною, а число  $m = n$  називається порядком цієї матриці.

Сумою двох матриць однакового розміру є матриця, елементи якої дорівнюють сумі відповідних елементів цих матриць. При множенні матриці на число потрібно всі її елементи помножити на це число.

Помножити матрицю  $A$  на матрицю  $B$  можна якщо число стовпців матриці  $A$  дорівнює числу рядків матриці  $B$ . Елемент

$C_{ik}$  матриці  $C = A \cdot B$  дорівнює сумі добутків елементів  $i$ -го рядка матриці  $A$  на відповідні елементи  $k$ -го стовпця матриці  $B$ . В цьому випадку, якщо  $(m, n)$  – розмір матриці  $A$ , а  $(n, p)$  – розмір матриці  $B$ , то  $(m, p)$  – розмір матриці  $C$ .

Матриця  $A'$ , одержана з матриці  $A$  шляхом заміни рядків відповідними стовпцями і навпаки, називається транспонованою по відношенні до матриці  $A$ .

Матриця  $A^{-1}$  називається оберненою до квадратної матриці  $A$ , якщо  $A \cdot A^{-1} = A^{-1} \cdot A = E$ , де  $E$  – одинична матриця (всі елементи, які лежать на головній діагоналі рівні одиниці, а всі інші – нулі). Для існування оберненої матриці  $A^{-1}$  необхідно і достатньо, щоб визначник матриці  $A$  не дорівнював нулю. Такі матриці називаються неособливими.

Щоб знайти матрицю  $A^{-1}$ , обернену до неособливої матриці  $A$ , потрібно:

1. Обчислити визначник  $\det A = \Delta$ ;
2. Знайти алгебраїчні доповнення  $A_{ik}$  елементів  $a_{ik}$  визначника  $\Delta$ ;
3. Скласти із чисел  $A_{ik}$  матрицю  $A^*$ ;
4. Транспонувати матрицю  $A^*$ , утворивши матрицю  $\tilde{A} = (A^*)'$ .

Матриця  $\tilde{A}$  називається приєднаною до матриці  $A$ ;

5. Скласти обернену матрицю  $A^{-1}$ :  $A^{-1} = \frac{1}{\Delta} \tilde{A}$ .

### **Матричний метод розв'язування систем лінійних алгебраїчних рівнянь**

Нехай задана система рівнянь:

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 = b_1, \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 = b_2, \\ a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 = b_3. \end{cases}$$

Складемо матриці:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} - \text{матриця системи};$$

$$B = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix} - \text{матриця-стовпець з вільних членів};$$

$$X = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} - \text{матриця-стовпець з невідомих}.$$

Дану систему рівнянь запишемо в матричній формі – матричним рівнянням  $AX = B$ .

Якщо матриця  $A$  неособлива ( $\det A = \Delta \neq 0$ ), то отримуємо розв'язок системи рівнянь в матричній формі:  $X = A^{-1}B$ .

**Приклад 5.** Знайти  $3A + 2B$ , якщо

$$A = \begin{pmatrix} 3 & -1 & 2 \\ 5 & 2 & -3 \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} 5 & 2 & 1 \\ 3 & -4 & 2 \end{pmatrix}.$$

**Розв'язання.**

$$\begin{aligned} 3A + 2B &= 3 \cdot \begin{pmatrix} 3 & -1 & 2 \\ 5 & 2 & -3 \end{pmatrix} + 2 \cdot \begin{pmatrix} 5 & 2 & 1 \\ 3 & -4 & 2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 9 & -3 & 6 \\ 15 & 6 & -9 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 10 & 4 & 2 \\ 6 & -8 & 4 \end{pmatrix} = \\ &= \begin{pmatrix} 19 & 1 & 8 \\ 21 & -2 & -5 \end{pmatrix}. \end{aligned}$$

**Приклад 6.** Знайти  $A \cdot B$ , якщо

$$A = \begin{pmatrix} 5 & -2 & 3 \\ 2 & 1 & 4 \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} 2 & 3 \\ -1 & 5 \\ 3 & 4 \end{pmatrix}.$$

**Розв'язання.** Число стовпців матриці  $A$  дорівнює числу рядків матриці  $B$ , тому матриці можна перемножувати:

$$A \cdot B = \begin{pmatrix} 5 & -2 & 3 \\ 2 & 1 & 4 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 2 & 3 \\ -1 & 5 \\ 3 & 4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 5 \cdot 2 + (-2) \cdot (-1) + 3 \cdot 3 & 5 \cdot 3 + (-2) \cdot 5 + 3 \cdot 4 \\ 2 \cdot 2 + 1 \cdot (-1) + 4 \cdot 3 & 2 \cdot 3 + 1 \cdot 5 + 4 \cdot 4 \end{pmatrix} =$$

$$= \begin{pmatrix} 21 & 17 \\ 15 & 27 \end{pmatrix}.$$

**Приклад 7.** Знайти  $A \cdot B$ , якщо

$$A = \begin{pmatrix} 2 & 1 & 3 \\ 4 & -2 & 1 \\ 3 & 5 & -2 \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} 3 & 2 & 4 \\ 1 & 2 & 3 \\ 5 & 2 & 1 \end{pmatrix}.$$

**Розв'язання.**

$$A \cdot B = \begin{pmatrix} 2 & 1 & 3 \\ 4 & -2 & 1 \\ 3 & 5 & -2 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 3 & 2 & 4 \\ 1 & 2 & 3 \\ 5 & 2 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 6+1+15 & 4+2+6 & 8+3+3 \\ 12-2+5 & 8-4+2 & 16-6+1 \\ 9+5-10 & 6+10-4 & 12+15-2 \end{pmatrix} =$$

$$= \begin{pmatrix} 22 & 12 & 14 \\ 15 & 6 & 11 \\ 4 & 12 & 25 \end{pmatrix}.$$

**Приклад 8.** Знайти матрицю  $A^{-1}$ , обернену до матриці

$$A = \begin{pmatrix} -3 & -1 & 2 \\ 4 & -1 & 3 \\ 2 & 1 & 4 \end{pmatrix}.$$

**Розв'язання.** Обчислюємо визначник матриці:

$$\Delta = \begin{vmatrix} -3 & -1 & 2 \\ 4 & -1 & 3 \\ 2 & 1 & 4 \end{vmatrix} = 12 - 6 + 8 + 4 + 9 + 16 = 43 \neq 0.$$

Знаходимо алгебраїчні доповнення елементів цього визначника:

$$A_{11} = \begin{vmatrix} -1 & 3 \\ 1 & 4 \end{vmatrix} = 7; \quad A_{12} = - \begin{vmatrix} 4 & 3 \\ 2 & 4 \end{vmatrix} = -10; \quad A_{13} = \begin{vmatrix} 4 & -1 \\ 2 & 1 \end{vmatrix} = 6;$$

$$A_{21} = -\begin{vmatrix} -1 & 2 \\ 1 & 4 \end{vmatrix} = 6; \quad A_{22} = \begin{vmatrix} -3 & 2 \\ 2 & 4 \end{vmatrix} = -16; \quad A_{23} = -\begin{vmatrix} -3 & -1 \\ 2 & 1 \end{vmatrix} = 1;$$

$$A_{31} = \begin{vmatrix} -1 & 2 \\ -1 & 3 \end{vmatrix} = -1; \quad A_{32} = -\begin{vmatrix} -3 & 2 \\ 4 & 3 \end{vmatrix} = 17; \quad A_{33} = \begin{vmatrix} -3 & -1 \\ 4 & -1 \end{vmatrix} = 7.$$

Складаємо матрицю:

$$A^* = \begin{pmatrix} -7 & -10 & 6 \\ 6 & -16 & 1 \\ -1 & 17 & 7 \end{pmatrix} \text{ і транспонуємо її: } \tilde{A} = (A^*)' = \begin{pmatrix} -7 & 6 & -1 \\ -10 & -16 & 17 \\ 6 & 1 & 7 \end{pmatrix}.$$

Знаходимо матрицю  $A^{-1}$ , обернену до матриці  $A$ :

$$A^{-1} = \frac{1}{\Delta} \tilde{A} = \frac{1}{43} \begin{pmatrix} -7 & 6 & -1 \\ -10 & -16 & 17 \\ 6 & 1 & 7 \end{pmatrix}.$$

**Приклад 9.** Розв'язати систему рівнянь матричним методом:

$$\begin{cases} 2x_1 + 3x_2 - x_3 = 6, \\ 3x_1 - x_2 + 2x_3 = 5, \\ x_1 + 2x_2 - 3x_3 = -1. \end{cases}$$

**Розв'язання.** Запишемо систему рівнянь в матричній формі – матричним рівнянням  $AX = B$ , де

$$A = \begin{pmatrix} 2 & 3 & -1 \\ 3 & -1 & 2 \\ 1 & 2 & -3 \end{pmatrix}; \quad B = \begin{pmatrix} 6 \\ 5 \\ -1 \end{pmatrix}; \quad X = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix}.$$

Визначник матриці  $A$  – коефіцієнтів при невідомих системи:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 2 & 3 & -1 \\ 3 & -1 & 2 \\ 1 & 2 & -3 \end{vmatrix} = 24 \neq 0.$$

Розв'язок системи рівнянь в матричній формі:  $X = A^{-1} \cdot B$ . Знайдемо обернену матрицю  $A^{-1}$ , для цього обчислимо алгебраїчні доповнення визначника заданої системи:

$$A_{11} = \begin{vmatrix} -1 & 2 \\ 2 & -3 \end{vmatrix} = -1; \quad A_{12} = -\begin{vmatrix} 3 & 2 \\ 1 & -3 \end{vmatrix} = 11; \quad A_{13} = \begin{vmatrix} 3 & -1 \\ 1 & 2 \end{vmatrix} = 7;$$

$$A_{21} = -\begin{vmatrix} 3 & -1 \\ 2 & -3 \end{vmatrix} = 7; \quad A_{22} = \begin{vmatrix} 2 & -1 \\ 1 & -3 \end{vmatrix} = -5; \quad A_{23} = -\begin{vmatrix} 2 & 3 \\ 1 & 2 \end{vmatrix} = -1;$$

$$A_{31} = \begin{vmatrix} 3 & -1 \\ -1 & 2 \end{vmatrix} = -1; \quad A_{32} = -\begin{vmatrix} 2 & -1 \\ 3 & 2 \end{vmatrix} = -7; \quad A_{33} = \begin{vmatrix} 2 & 3 \\ 3 & -1 \end{vmatrix} = -11.$$

Складаємо матриці:

$$A^* = \begin{pmatrix} -1 & 11 & 7 \\ 7 & -5 & -1 \\ 5 & -7 & -11 \end{pmatrix} \text{ і } \tilde{A} = (A^*)' = \begin{pmatrix} -1 & 7 & 5 \\ 11 & -5 & -7 \\ 7 & -1 & -11 \end{pmatrix}.$$

$$\text{Обернена матриця: } A^{-1} = \frac{1}{24} \begin{pmatrix} -1 & 7 & 5 \\ 11 & -5 & -7 \\ 7 & -1 & -11 \end{pmatrix}.$$

$$\text{Шуканий розв'язок: } X = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \frac{1}{24} \begin{pmatrix} -1 & 7 & 5 \\ 11 & -5 & -7 \\ 7 & -1 & -11 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 6 \\ 5 \\ -1 \end{pmatrix} =$$

$$= \frac{1}{24} \begin{pmatrix} -6+35-5 \\ 66-25+7 \\ 42-5+11 \end{pmatrix} = \frac{1}{24} \begin{pmatrix} 24 \\ 48 \\ 48 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 2 \end{pmatrix}.$$

Відповідь:  $\{(1; 2; 2)\}$ .

Вектор  $\overrightarrow{AB}$  – це напрямний відрізок прямої, довжина якого називається модулем вектора; записують  $|\vec{a}| = |\overrightarrow{AB}|$ .

Вектор  $\vec{a}$  заданий координатами  $a_x, a_y, a_z$  записують у вигляді:  $\vec{a} = (a_x, a_y, a_z)$  або  $\vec{a} = a_x \vec{i} + a_y \vec{j} + a_z \vec{k}$ , де  $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$  – одиничні вектори, напрями яких співпадають з додатними напрямками осей координат (орти).

Якщо початок вектора міститься в точці  $A(x_1; y_1; z_1)$ , а кінець – в точці  $B(x_2; y_2; z_2)$ , то  $\overrightarrow{AB} = (x_2 - x_1; y_2 - y_1; z_2 - z_1)$ . При додаванні (відніманні) векторів їх відповідні координати додаються (віднімаються), при множенні вектора на число всі його координати множаться на це число.

Якщо вектори  $\vec{a} = (a_x, a_y, a_z)$  і  $\vec{b} = (b_x, b_y, b_z)$  колінеарні, то:

$$\frac{a_x}{b_x} = \frac{a_y}{b_y} = \frac{a_z}{b_z}.$$

Скалярним добутком двох векторів  $\vec{a}$  і  $\vec{b}$  називається число  $\vec{a} \cdot \vec{b} = |\vec{a}| |\vec{b}| \cos(\widehat{a, b})$ . Число  $\vec{a} \cdot \vec{a} = a^2$  – скалярний квадрат

вектора  $\vec{a}$ . Тоді  $a^2 = |\vec{a}|^2$ . Якщо вектори задані координатами

$\vec{a} = (a_x, a_y, a_z)$ ,  $\vec{b} = (b_x, b_y, b_z)$ , то  $\vec{a} \cdot \vec{b} = a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z$  і

$|\vec{a}| = \sqrt{a^2} = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$ . Кут  $\varphi = (\widehat{a, b})$  знаходиться за

формулою: 
$$\cos \varphi = \frac{\vec{a} \cdot \vec{b}}{|\vec{a}| |\vec{b}|} = \frac{a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z}{\sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \cdot \sqrt{b_x^2 + b_y^2 + b_z^2}},$$

проекція вектора  $\vec{a}$  на вектор  $\vec{b}$  знаходиться за формулою:

$$np_{\vec{b}} \vec{a} = \frac{a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z}{\sqrt{b_x^2 + b_y^2 + b_z^2}}$$

Якщо вектори  $\vec{a}$  і  $\vec{b}$  перпендикулярні, то  $\vec{a} \cdot \vec{b} = 0$ .

**Приклад 10.** Дано точки:  $A(3; -1; 2)$ ,  $B(4; 3; 1)$ ,  $C(5; 2; 3)$ .

Знайти вектор  $\vec{a} = 3\overrightarrow{AB} + 4\overrightarrow{BC}$ .

**Розв'язання.**

$$\overrightarrow{AB} = (4-3; 3+1; 1-2) = (1; 4; -1), \quad \overrightarrow{BC} = (5-4; 2-3; 3-1) = (1; -1; 2),$$

$$3\overrightarrow{AB} = (3; 12; -3), \quad 4\overrightarrow{BC} = (4; -4; 8), \quad \vec{a} = (3+4; 12-4; -3+8) = (7; 8; 5).$$

**Приклад 11.** Знайти:  $(4\vec{a} + 3\vec{b}) \cdot (\vec{a} - 2\vec{b})$ , якщо  $|\vec{a}| = 2$ ,  $|\vec{b}| = 3$ ,

$\varphi = \frac{2}{3}\pi$  (кут між  $\vec{a}$  і  $\vec{b}$ ).

**Розв'язання.**

$$\begin{aligned} (4\vec{a} + 3\vec{b}) \cdot (\vec{a} - 2\vec{b}) &= 4\vec{a} \cdot \vec{a} + 3\vec{b} \cdot \vec{a} - 8\vec{a} \cdot \vec{b} - 6\vec{b} \cdot \vec{b} = 4|\vec{a}|^2 - 5|\vec{a}||\vec{b}|\cos\varphi - 6|\vec{b}|^2 = \\ &= 4 \cdot 4 - 5 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \left(-\frac{1}{2}\right) - 6 \cdot 9 = -23. \end{aligned}$$

**Приклад 12.** Знайти:  $|2\vec{a} - 3\vec{b}|$ , якщо  $|\vec{a}| = 4$ ,  $|\vec{b}| = 2$ , кут між

векторами  $\varphi = \frac{\pi}{3}$ .

**Розв'язання.**

$$\begin{aligned} |2\vec{a} - 3\vec{b}| &= \sqrt{(2\vec{a} - 3\vec{b})^2} = \sqrt{4\vec{a} \cdot \vec{a} - 12\vec{a} \cdot \vec{b} + 9\vec{b} \cdot \vec{b}} = \sqrt{4|\vec{a}|^2 - 12|\vec{a}||\vec{b}|\cos\varphi + 9|\vec{b}|^2} = \\ &= \sqrt{4 \cdot 16 - 12 \cdot 4 \cdot \frac{1}{2} - 9 \cdot 4} = \sqrt{52} = 2\sqrt{13}. \end{aligned}$$

**Приклад 13.** Дано трикутник з вершинами в точках:  $A(1; 1; -2)$ ,  $B(3; 2; 1)$ ,  $C(2; 4; -1)$ . Знайти внутрішній кут  $\varphi$  при вершині  $B$  і проекцію вектора  $\vec{BA}$  на вектор  $\vec{BC}$ .

**Розв'язання.** Шуканий кут  $\varphi$  – це кут між векторами  $\vec{BA}$  та  $\vec{BC}$ . В даному випадку, маємо  $\vec{BA} = (-2; -1; -3)$  і  $\vec{BC} = (-1; 2; -2)$ . Тому

$$\cos\varphi = \frac{\vec{BA} \cdot \vec{BC}}{|\vec{BA}||\vec{BC}|} = \frac{(-2)(-1) + (-1)2 + (-3)(-2)}{\sqrt{(-2)^2 + (-1)^2 + (-3)^2} \cdot \sqrt{(-1)^2 + 2^2 + (-2)^2}} = \frac{6}{3\sqrt{14}} = \frac{2}{\sqrt{14}}$$

$$\varphi = \arccos \frac{2}{\sqrt{14}}.$$

$$np_{\vec{BA}} \vec{BC} = \frac{\vec{BA} \cdot \vec{BC}}{|\vec{BC}|} = \frac{6}{3} = 2.$$



**Приклад 14.** Дано координати вершин піраміди  $A(2;-1;3)$ ,  $B(1;1;1)$ ,  $C(0;0;5)$ ,  $D(4;-1;5)$ . Знайти:

а) координати векторів  $\overline{AB}$ ,  $\overline{AC}$ ,  $\overline{AD}$  та їх модулі;

б) проекцію вектора  $\overline{AB}$  на вектор  $\overline{AD}$ ;

в)  $\overline{AB} \cdot (\overline{CA} + 2\overline{AD})$ ;

г) кут між векторами  $\overline{AB}$  та  $\overline{AC}$ .

**Розв'язання.** а) Знаходимо координати векторів та їх модулі:

$$\overline{AB} = (1 - 2; 1 - (-1); 1 - 3) = (-1; 2; -2);$$

$$\overline{AC} = (0 - 2; 0 - (-1); 5 - 3) = (-2; 1; 2);$$

$$\overline{AD} = (4 - 2; -1 - (-1); 5 - 3) = (2; 0; 2);$$

$$|\overline{AB}| = \sqrt{(-1)^2 + 2^2 + (-2)^2} = \sqrt{9} = 3;$$

$$|\overline{AC}| = \sqrt{(-2)^2 + 1^2 + 2^2} = \sqrt{9} = 3;$$

$$|\overline{AD}| = \sqrt{2^2 + 0 + 2^2} = \sqrt{8} = 2\sqrt{2}.$$

б) Проекцію вектора  $\overline{AB}$  на вектор  $\overline{AD}$  знайдемо за формулою

$$Pr_{\overline{AD}} \overline{AB} = \frac{\overline{AB} \cdot \overline{AD}}{|\overline{AD}|}, \text{ де } \overline{AB} \cdot \overline{AD} \text{ - скалярний добуток цих}$$

векторів. Оскільки  $\overline{AB} \cdot \overline{AD} = (-1) \cdot 2 + 2 \cdot 0 + (-2) \cdot 2 = -6$ , а

$$|\overline{AD}| = 2\sqrt{2}, \text{ то } Pr_{\overline{AD}} \overline{AB} = \frac{-6}{2\sqrt{2}} = -\frac{3}{\sqrt{2}} \approx -2,12.$$

в) Знайдемо спочатку координати векторів  $\overline{CA}$ ,  $2\overline{AD}$  та  $\overline{CA} + 2\overline{AD}$ :  $\overline{CA} = -\overline{AC} = (2; -1; -2)$ ,  $2\overline{AD} = (4; 0; 4)$ ,

$$\overline{CA} + 2\overline{AD} = (2 + 4; -1 + 0; -2 + 4) = (6; -1; 2).$$

Тоді  $\overline{AB} \cdot (\overline{CA} + 2\overline{AD}) = (-1) \cdot 6 + 2 \cdot (-1) + (-2) \cdot 2 = -12$ .

г) Оскільки внутрішній кут  $\varphi$  при вершині  $A$  трикутника  $ABC$  – це кут між векторами  $\overline{AB}$  і  $\overline{AC}$ , то

$$\cos \varphi = \cos(\overline{AB}, \overline{AC}) = \frac{\overline{AB} \cdot \overline{AC}}{|\overline{AB}| \cdot |\overline{AC}|}.$$

$$\overline{AB} \cdot \overline{AC} = (-1) \cdot (-2) + 2 \cdot 1 + (-2) \cdot 2 = 0, \quad |\overline{AB}| = 3, \quad |\overline{AC}| = 3,$$

$$\cos \varphi = \frac{0}{3 \cdot 3} = 0, \quad \varphi = \arccos 0 = \frac{\pi}{2}.$$

Отже, шуканий кут дорівнює  $\varphi = \frac{\pi}{2}$ , тобто вектори  $\overline{AB}$  і  $\overline{AC}$  – перпендикулярні.

**Приклад 15.** Обчислити роботу, яку виконує сила  $\overline{F} = (1; -3; 2)$  при прямолінійному переміщенні матеріальної точки з положення  $A(0; 1; 0)$  в положення  $B(1; 0; 1)$ .

**Розв'язання.** Роботу сили  $\overline{F}$  по переміщенню матеріальної точки з положення  $A$  в положення  $B$  знайдемо за формулою  $A = \overline{F} \cdot \overline{AB}$ .

Знайдемо координати вектора переміщення  $\overline{AB} = (1; -1; 1)$ .  
Тоді  $A = 1 \cdot 1 + (-3) \cdot (-1) + 2 \cdot 1 = 6$ .

### Завдання для самоконтролю

1. Розв'язати системи рівнянь:

$$\text{а) } \begin{cases} x_1 + 2x_2 = 8, \\ 3x_1 + 2x_2 = 12; \end{cases} \quad \text{б) } \begin{cases} 3x_1 - 4x_2 = 5, \\ 6x_1 - 8x_2 = 10; \end{cases}$$

$$\text{в) } \begin{cases} 2x_1 - 3x_2 = 6, \\ 4x_1 - 6x_2 = 5; \end{cases}$$

$$\text{г) } \begin{cases} 3x_1 + 2x_2 - x_3 = 4, \\ x_1 - 3x_2 + 2x_3 = 5, \\ 2x_1 + x_2 - 3x_3 = 3; \end{cases} \quad \text{д) } \begin{cases} 2x_1 - x_2 + x_3 = 2, \\ x_1 - 3x_2 + 2x_3 = -3, \\ 3x_1 + x_2 = 1; \end{cases}$$

$$е) \begin{cases} 2x_1 - 3x_2 + 5x_3 = 0, \\ 8x_1 + 2x_2 - x_3 = 21, \\ 2x_1 + 11x_2 - 16x_3 = 21. \end{cases}$$

2. Вектори  $\vec{a}$  і  $\vec{b}$  утворюють кут  $\varphi = \frac{\pi}{3}$ . Знаючи, що  $|\vec{a}| = 4$ ,

$|\vec{b}| = 5$ , обчислити:

а)  $\vec{a} \cdot \vec{b}$ ;      б)  $(3\vec{a} + 2\vec{b})(\vec{b} - 2\vec{a})$ ;      в)  $Pr_a(2\vec{a} + \vec{b})$ ;

г)  $|\vec{p}|$ , якщо  $\vec{p} = 2\vec{a} + \vec{b}$ .

3. Дано точки  $A(3; -1; 0)$ ,  $B(2; 1; 1)$ ,  $C(3; 0; -2)$ . Знайти:

а) координати векторів  $\vec{AB}$ ,  $\vec{AC}$  та їх модулі;

б) кут між векторами  $\vec{AB}$  і  $\vec{AC}$ ;

в)  $Pr_{\vec{AC}}(2\vec{AB} + \vec{BC})$ .

4. При якому значенні  $\alpha$  вектори  $\vec{p} = (2; 0; \alpha)$  і  $\vec{q} = (3; 4; 2)$  перпендикулярні?

## Тема 2. Елементи аналітичної геометрії

### Віддаль між двома точками.

Якщо в прямокутній декартовій системі координат задані дві точки  $M_1(x_1; y_1; z_1)$  і  $M_2(x_2; y_2; z_2)$ , то віддаль між двома точками знаходиться за формулою:

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}.$$

### Поділ відрізка у заданому відношенні.

Нехай  $A(x_1; y_1; z_1)$  і  $B(x_2; y_2; z_2)$  – дві точки, які є кінцями відрізка  $AB$ . Координати точки  $C(x_c; y_c; z_c)$ , яка ділить цей

відрізок у відношенні  $\lambda = \frac{AC}{CB}$  знаходяться за

формулами:

$$x_c = \frac{x_1 + \lambda x_2}{1 + \lambda}; \quad y_c = \frac{y_1 + \lambda y_2}{1 + \lambda}; \quad z_c = \frac{z_1 + \lambda z_2}{1 + \lambda}.$$

Якщо точка  $M_0(x_0; y_0; z_0)$  ділить відрізок навпіл, то

$$x_0 = \frac{x_1 + x_2}{2}; \quad y_0 = \frac{y_1 + y_2}{2}; \quad z_0 = \frac{z_1 + z_2}{2}.$$

Найпростішою лінією на площині є пряма лінія. Основні види рівнянь прямої лінії на площині в прямокутній системі координат  $XOY$ :

1. Рівняння прямої, що проходить через задану точку  $M_0(x_0; y_0)$  перпендикулярно до вектора  $\vec{N}(A; B)$  (вектор  $\vec{N} \neq \vec{0}$  називається нормальним вектором) задається у вигляді:

$$A(x - x_0) + B(y - y_0) = 0.$$

2. Будь-яке рівняння першого степеня відносно  $x$  і  $y$ , тобто

$$Ax + By + C = 0,$$

де  $A, B, C$  – сталі коефіцієнти і  $A^2 + B^2 \neq 0$  визначає на площині пряму лінію. Це рівняння називається загальним рівнянням прямої.

3. Рівняння прямої, що проходить через задану точку  $M_0(x_0; y_0)$  паралельно вектору  $\vec{S}(m; n)$  (вектор  $\vec{S} \neq \vec{0}$  напрямний вектор) задається у вигляді:

$$\frac{x - x_0}{m} = \frac{y - y_0}{n}.$$

Це рівняння називається канонічним рівнянням прямої.

4. Пряма лінія, яка проходить через дві точки  $M_1(x_1; y_1)$  і  $M_2(x_2; y_2)$  визначається рівнянням:

$$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1}.$$

5. Рівняння прямої, що проходить через задану точку  $M_0(x_0; y_0)$  з заданим кутовим коефіцієнтом  $k$  ( $k = \operatorname{tg} \alpha$ , де  $\alpha$  – кут нахилу прямої з додатнім напрямком осі  $Ox$ ):

$$y - y_0 = k(x - x_0).$$

Гострий кут між двома прямими, що мають кутові коефіцієнти  $k_1$  і  $k_2$ , визначається за формулою:

$$\operatorname{tg} \varphi = \left| \frac{k_2 - k_1}{1 + k_1 k_2} \right|.$$

Умова паралельності двох прямих:  $k_1 = k_2$ . Умова перпендикулярності двох прямих:  $k_1 \cdot k_2 = -1$ .

Відстань від точки  $M_0(x_0; y_0)$  до прямої  $Ax + By + C = 0$ :

$$d = \frac{|Ax + By + C|}{\sqrt{A^2 + B^2}}.$$

**Коло.** Колом називається множина точок площини, віддалей яких від фіксованої точки, яка називається центром кола, є величина стала, яка називається радіусом.

Рівняння кола з центром  $O_1(x_0; y_0)$  і радіусом  $R$  в прямокутній системі координат має вигляд:

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = R^2.$$

Зокрема якщо центр кола лежить в початку координат, то одержуємо канонічне рівняння кола:

$$x^2 + y^2 = R^2.$$

**Еліпс.** Еліпсом називається множина точок площини, сума віддалей яких до двох заданих точок, які називаються фокусами,

є величина стала (її позначають  $2a$ ), при умові, що ця стала більша за віддаль між фокусами (яку позначають  $2c$ ).

Якщо систему координат вибрати так, щоб фокуси еліпса лежали на осі  $Ox$  симетрично відносно початку координат, то отримується канонічне рівняння еліпса:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1,$$

де  $b^2 = a^2 - c^2$ ,  $a > b$ ,  $a$  – велика піввісь,  $b$  – мала піввісь еліпса. Величина  $\varepsilon = \frac{c}{a} < 1$  називається ексцентриситетом.

Еліпс, центр якого знаходиться в точці  $(x_0; y_0)$  а осі паралельні осям координат, описується рівнянням:

$$\frac{(x - x_0)^2}{a^2} + \frac{(y - y_0)^2}{b^2} = 1.$$

**Гіпербола.** Гіперболою називається множина точок площини, абсолютна величина різниці віддалей яких до двох заданих точок, які називаються фокусами, є величина стала (її позначають  $2a$ ), при умові, що ця стала менша за віддаль між фокусами (яку позначають  $2c$ ).

Якщо систему координат вибрати так, щоб фокуси гіперболи лежали на осі  $Ox$  симетрично відносно початку координат, то одержимо канонічне рівняння гіперболи:

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1,$$

де  $b^2 = c^2 - a^2$ ,  $a$  – дійсна піввісь,  $b$  – уявна піввісь.

Ексцентриситет гіперболи  $\varepsilon = \frac{c}{a} > 1$ . Прямі  $y = \pm \frac{b}{a}x$  називається асимптотами гіперболи.

Рівняння  $\frac{(x - x_0)^2}{a^2} - \frac{(y - y_0)^2}{b^2} = 1$  є рівнянням гіперболи, центр якої лежить в точці  $(x_0; y_0)$ , а осі гіперболи паралельні осям координат.

**Парабола.** Параболою називається множина точок площини рівновіддалених від даної точки, яка називається фокусом і даної прямої, яка називається директрисою.

Якщо директриса параболи є пряма  $x = -\frac{p}{2}$  або  $x = \frac{p}{2}$ , а фокусом – точка  $F\left(\frac{p}{2}; 0\right)$  або  $F\left(-\frac{p}{2}; 0\right)$ , де  $p > 0$ , то маємо канонічні рівняння параболи:

$$y^2 = 2px \text{ або } y^2 = -2px.$$

У випадку, якщо директриса параболи є пряма  $y = -\frac{p}{2}$  або  $y = \frac{p}{2}$ , а фокусом – точка  $F\left(0; \frac{p}{2}\right)$  або  $F\left(0; -\frac{p}{2}\right)$ , де  $p > 0$ , то маємо ще два канонічних рівняння:

$$(y - y_0)^2 = \pm 2p(x - x_0), \quad (x - x_0)^2 = \pm 2p(y - y_0).$$

Нехай задане загальне рівняння другого степеня, яке не містить добутку змінних  $Ax^2 + By^2 + Cx + Dy + E = 0$ .

Якщо цьому рівнянню відповідає лінія на площині, то в результаті виділення повних квадратів, відносно кожної змінної, вихідне рівняння може набути одного з розглянутих нижче ліній другого порядку з осями симетрії паралельними до осей координат.

**Приклад 1.** Дано координати вершин трикутника  $A(0;1)$ ,  $B(2;11)$ ,  $C(10;7)$ . Методами аналітичної геометрії знайти:

а) загальні рівняння прямих  $AB$  і  $AC$ , нормальні вектори та кутові коефіцієнти цих прямих;

б) рівняння прямої  $AB$  у відрізках;

в) загальне рівняння прямої  $AK$ , яка містить медіану трикутника  $ABC$ ;

г) загальне рівняння висоти  $CE$  та її довжину;

д) внутрішній кут  $\varphi$  при вершині  $A$  трикутника  $ABC$ ;

е) рівняння прямої, що проходить через точку  $B$ :

1. паралельно до прямої  $AC$ ;

2. перпендикулярно до прямої  $AC$ ;  
 є) координати центра ваги трикутника.  
 Зробити рисунок.

**Розв'язання.** Зробимо рисунок.

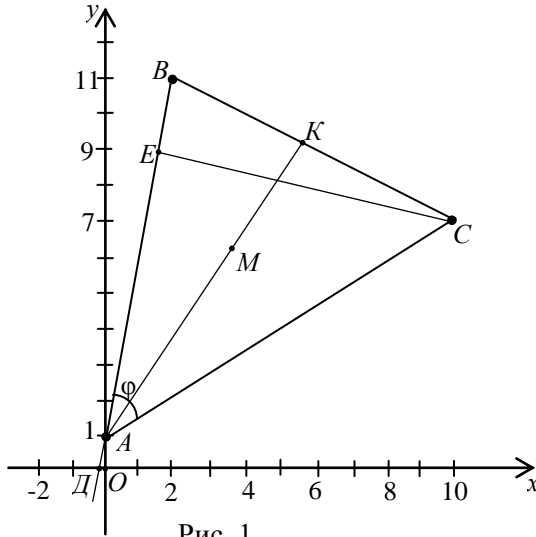


Рис. 1.

а) Підставивши в рівняння прямої, що проходить через дві дані точки координати точок  $A$  і  $B$ , отримаємо рівняння прямої  $AB$ :

$$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1}, \quad \frac{x - 0}{2 - 0} = \frac{y - 1}{11 - 1}, \quad \frac{x}{2} = \frac{y - 1}{10}, \quad 10x = 2(y - 1),$$

$5x - y + 1 = 0$  – загальне рівняння прямої  $AB$ ,  $\vec{n}_1 = (5; -1)$  – нормальний вектор прямої.

Розв'яжемо рівняння прямої  $AB$  відносно змінної  $y$ :  $y = 5x + 1$  – рівняння прямої з кутовим коефіцієнтом, де  $k_{AB} = 5$ .

Аналогічно знаходимо загальне рівняння прямої  $AC$ .

$$\frac{x - x_A}{x_C - x_A} = \frac{y - y_A}{y_B - y_A}, \quad \frac{x - 0}{10 - 0} = \frac{y - 1}{7 - 1}, \quad \frac{x}{10} = \frac{y - 1}{6},$$

$$6x = 10(y - 1),$$



$3x - 5y + 5 = 0$  – загальне рівняння,  $\vec{n}_2 = (3; -5)$  – нормальний вектор прямої.

$y = \frac{3}{5}x + 1$  – рівняння прямої  $AC$  з кутовим коефіцієнтом, де  $k_{AC} = \frac{3}{5}$ .

б) Зведемо загальне рівняння прямої  $AB$  до рівняння у відрізках. Для цього перенесемо вільний член заданого рівняння в праву частину рівності і поділимо на нього обидві частини рівняння. Отримаємо:  $5x - y = -1$ ,  $\frac{x}{-\frac{1}{5}} + \frac{y}{1} = 1$ .

З цього рівняння видно, що пряма відтинає на осях координат відрізки  $a = -\frac{1}{5}$  і  $b = 1$ , тобто, проходить через точки  $D(-\frac{1}{5}; 0)$  та  $A(0; 1)$ .

в) Знайдемо спочатку координати точки  $K$ , як середини відрізка  $BC$ .

$$x_K = \frac{x_B + x_C}{2} = \frac{2 + 10}{2} = 6, \quad y_K = \frac{y_B + y_C}{2} = \frac{11 + 7}{2} = 9,$$

тобто,  $K(6; 9)$ .

Знайдемо рівняння медіани  $AK$  як рівняння прямої, що проходить через точки  $A$  і  $K$ :

$$\frac{x - x_A}{x_K - x_A} = \frac{y - y_A}{y_K - y_A}, \quad \frac{x - 0}{6 - 0} = \frac{y - 1}{9 - 1}, \quad 4x - 3y + 3 = 0.$$

г) Оскільки нормальний вектор  $\vec{n}_1 = (5; -1)$  прямої  $AB$  буде напрямним до прямої  $CE$ , то, скориставшись канонічним рівнянням прямої, знайдемо рівняння висоти :

$$\frac{x - x_C}{5} = \frac{y - y_C}{-1}, \quad \frac{x - 10}{5} = \frac{y - 7}{-1}, \quad -(x - 10) = 5(y - 7).$$

Звідки  $x + 5y - 45 = 0$  – шукане рівняння.

Довжину цієї висоти знайдемо як відстань від точки  $C$  до прямої  $AB$ :

$$|CE| = \frac{|5 \cdot 10 - 7 + 1|}{\sqrt{5^2 + (-1)^2}} = \frac{44}{\sqrt{26}} \approx 8,63 \text{ (лін. од.)}$$

д) Внутрішній кут  $\varphi$  при вершині  $A$  заданого трикутника, знайдемо як кут між прямими  $AB$  і  $AC$ .

Оскільки  $\vec{n}_1 = (5; -1)$ ,  $\vec{n}_2 = (3; -5)$  - нормальні вектори цих прямих,

$$\begin{aligned} \text{то } \cos \varphi &= \cos(\vec{n}_1, \vec{n}_2) = \frac{|\vec{n}_1 \cdot \vec{n}_2|}{|\vec{n}_1| \cdot |\vec{n}_2|} = \frac{5 \cdot 3 + (-1) \cdot (-5)}{\sqrt{5^2 + (-1)^2} \cdot \sqrt{3^2 + (-5)^2}} = \\ &= \frac{20}{\sqrt{26} \cdot \sqrt{34}} \approx 0,673. \end{aligned}$$

Тоді  $\varphi \approx \arccos 0,673 \approx 47^\circ$ .

е) 1. Запишемо рівняння в'язки прямих, що проходять через точку  $B(2;11)$ :  $y - 11 = k(x - 2)$ . Оскільки шукана пряма паралельна до прямої  $AC$  ( $k_{AC} = \frac{3}{5}$  знайдено вище), то їх кутові

коефіцієнти пов'язані співвідношенням  $k = k_{AC} = \frac{3}{5}$ . Тоді рівняння прямої, що проходить через точку  $B$  і паралельна до прямої  $AC$  запишеться так:

$$y - 11 = \frac{3}{5}(x - 2) \text{ або } 3x - 5y + 49 = 0.$$

2. Аналогічно до випадку 1 маємо  $y - 11 = k(x - 2)$  - рівняння в'язки прямих, що проходять через точку  $B$ . Кутовий коефіцієнт шуканої прямої знайдемо з умови її перпендикулярності до прямої  $AC$ , тобто,

$$k \cdot k_{AC} = -1, k = -\frac{1}{k_{AC}} = -\frac{5}{3}. \text{ Тоді } y - 11 = \frac{5}{3}(x - 2) \text{ або } 5x +$$

$3y - 43 = 0$  – рівняння прямої, що проходить через задану точку  $B$  перпендикулярно до прямої  $AC$ .

є) *I спосіб.* Координати точки  $M$  – центра ваги трикутника  $ABC$ , знайдемо за формулами:

$$x_M = \frac{x_A + x_B + x_C}{3} = \frac{0 + 2 + 10}{3} = 4,$$

$$y_M = \frac{y_A + y_B + y_C}{3} = \frac{1 + 11 + 7}{3} = \frac{19}{3} = 6\frac{1}{3}.$$

Шукана точка  $M(4; 6\frac{1}{3})$ .

*II спосіб.* Координати центра ваги трикутника співпадають з точкою перетину його медіан. Оскільки медіани в точці

перетину діляться у відношенні 2:1  $\left( \lambda = \frac{|AM|}{|MK|} = 2 \right)$ , то

координати точки  $M$  – центра ваги трикутника, знайдемо за формулами:

$$x_M = \frac{x_A + \lambda x_K}{1 + \lambda} = \frac{0 + 2 \cdot 6}{1 + 2} = 4,$$

$$y_M = \frac{y_A + \lambda \cdot y_K}{1 + \lambda} = \frac{1 + 2 \cdot 9}{1 + 2} = \frac{19}{3} = 6\frac{1}{3}.$$

Отже,  $M(4; 6\frac{1}{3})$ .

**Приклад 2.** Скласти рівняння кола, якщо точки  $A(2; -1)$  і  $B(4; 5)$  є кінцями одного з діаметрів.

**Розв'язання.** Знаходимо центр і радіус кола. Центром кола є середина діаметра  $AB$ , тому маємо:

$$x_0 = \frac{2 + 4}{2} = 3; \quad y_0 = \frac{-1 + 5}{2} = 2: \quad O_1(3; 2).$$

**Приклад 3.** Скласти канонічне рівняння еліпса, якщо відстань між фокусами рівна 18, а велика піввісь – 12.

**Розв'язання.** За умовою задачі  $2c = 18$ ,  $a = 12$ . Із співвідношення  $b^2 = a^2 - c^2$  знаходимо  $b^2 = 12^2 - 9^2 = 144 - 81 = 63$ .

Отже, рівняння еліпса має вигляд  $\frac{x^2}{144} + \frac{y^2}{63} = 1$ .

**Приклад 4.** Скласти рівняння гіперболи, якщо її дійсна піввісь дорівнює 8, а ексцентриситет  $\varepsilon = \frac{3}{2}$ .

**Розв'язання.** За умовою задачі  $a=8$ ,  $\varepsilon = \frac{3}{2}$ . Оскільки  $\varepsilon = \frac{c}{a} = \frac{3}{2}$ , то  $c = \frac{3 \cdot 8}{2} = 12$ . Із співвідношення  $b^2 = a^2 - c^2$  маємо  $b^2 = 12^2 - 8^2 = 144 - 64 = 80$ .

Отже, рівняння гіперболи  $\frac{x^2}{64} - \frac{y^2}{80} = 1$ .

**Приклад 5.** Знайти координати центра, півосі та ексцентриситет еліпса, заданого рівнянням  $9x^2 - 18x + 25y^2 + 100y - 116 = 0$ .

**Розв'язання.** Згрупуємо доданки, які містять однакові змінні, і доповнимо отримані вирази до повних квадратів. Маємо:

$$(9x^2 - 18x) + (25y^2 + 100y) - 116 = 0,$$

$$9(x^2 - 2x) + 25(y^2 + 4y) - 116 = 0,$$

$$9[(x^2 - 2x + 1) - 1] + 25[(y^2 + 4y + 4) - 4] - 116 = 0,$$

$$9(x-1)^2 + 25(y+2)^2 - 225 = 0.$$

$$\text{Звідси } \frac{(x-1)^2}{25} + \frac{(y+2)^2}{9} = 1.$$

Центр еліпса знаходиться в точці  $C(1; -2)$ , півосі  $a=5$ ,  $b=3$ . Оскільки  $c = \sqrt{a^2 - b^2} = \sqrt{25 - 9} = 4$ , то ексцентриситет

$$\text{еліпса } \varepsilon = \frac{c}{a} = \frac{4}{5} = 0,8.$$

**Приклад 6.** Знайти координати вершини і значення параметра  $p$  параболі, заданої рівнянням  $2y^2 - 12y - x + 14 = 0$ .

**Розв'язання.** Згрупуємо доданки із змінною  $y$  і виділимо повний квадрат. Маємо

$$2(y^2 - 6y) - x + 14 = 0; \quad 2[(y-3)^2 - 9] - x + 14 = 0 \quad \text{або}$$

$$2(y-3)^2 = x + 4, \quad (y-3)^2 = \frac{1}{2}(x+4).$$

Координати вершин параболи знаходяться в точці  $A(-4;3)$ .

Параметр  $p$  знаходимо з умови  $2p = \frac{1}{2}$ ,  $p = \frac{1}{4}$ . Вісь симетрії параболи паралельна до осі  $Ox$ .

**Приклад 7.** Побудувати плоску фігуру, обмежену лініями  $y = -x^2 + 2x + 7$  і  $y = -x + 3$ .

**Розв'язання.** Знайдемо координати точок перетину параболи і прямої, розв'язавши систему рівнянь:

$$\begin{cases} y = -x^2 + 2x + 7, \\ y = -x + 3; \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} y = -x + 3, \\ x^2 - 3x - 4 = 0; \end{cases} \Rightarrow x_1 = -1, \quad x_2 = 4.$$

Отже,  $A(-1;4)$  і  $B(4;-1)$  – точки перетину ліній.

Побудуємо лінії та заштрихуємо фігуру  $\Phi$ , яка обмежена зверху парабою, а знизу – прямою (рис.2).

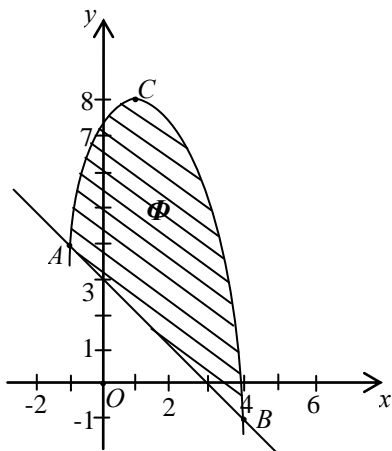


Рис. 2

Для знаходження вершини параболи зведемо її рівняння до канонічного виду:

$$y = -(x^2 + 2x) + 7,$$

$$y = -[(x-1)^2 - 1] + 7,$$

$$y = -(x-1)^2 + 8,$$

$$(x-1)^2 = -(y-8).$$

Отже, вершина параболи знаходиться в точці  $C(1;8)$ , вітки направлені вниз, вісь симетрії  $x=1$ .

## Завдання для самоконтролю

- Дано вершини трикутника  $A(4;3)$ ,  $B(-3;-3)$ ,  $C(2;7)$ . Знайти:
  - рівняння прямих  $AB$  і  $AC$ , нормальні вектори та кутові коефіцієнти цих прямих;
  - рівняння прямої  $AC$  у відрізках;
  - рівняння прямої  $AK$ , що містить медіану трикутника  $ABC$ ;
  - рівняння висоти  $CE$  та її довжину;
  - внутрішній кут  $\varphi$  при вершині  $A$ ;
  - рівняння прямої, що проходить через точку  $B$ :
    - перпендикулярно до прямої  $AC$ ;
    - паралельно до прямої  $AC$ ;
  - координати центра ваги трикутника.Зробити рисунок.
- Знайти рівняння кола, якщо кінці одного з його діаметрів знаходяться в точках  $A(3;9)$  і  $B(7;3)$ .
- Скласти канонічне рівняння еліпса, якщо його велика піввісь  $a=12$ , а ексцентриситет  $\varepsilon=0,5$ .
- Знайти півосі, координати фокусів і ексцентриситет еліпса  $9x^2 + 4y^2 = 36$ . Зробити рисунок.
- Скласти канонічне рівняння гіперболи, якщо її дійсна піввісь  $a=8$ , а ексцентриситет  $\varepsilon = \frac{5}{4}$ .
- Звести до канонічного виду рівняння гіперболи  $9x^2 - 16y^2 = 144$ . Знайти координати її фокусів, ексцентриситет і рівняння асимптот. Зробити рисунок.
- Визначити точки перетину прямої  $x+y-3=0$  і параболи  $x^2 = 4y$ .
- Встановити, яку криву задає рівняння (зробити рисунок):
  - $x^2 + y^2 - 4x + 6y + 4 = 0$ ;
  - $4x^2 + 9y^2 + 32x - 54y + 109 = 0$ ;
  - $x^2 - 6y^2 - 12x + 36y - 48 = 0$ ;
  - $x^2 - 8x + 2y + 18 = 0$ .

### Тема 3. Вступ до математичного аналізу

Нехай задані дві множини дійсних чисел  $X$  і  $Y$ . Функцією називається правило, за яким кожному елементу  $x \in X$  відповідає єдиний елемент  $y \in Y$ , при умові, що кожному елементу  $y \in Y$  відповідає хоча б один елемент  $x \in X$ .

Множина  $X$  називається областю визначення, а множина  $Y$  називається множиною значень функції.

Якщо функція  $y = f(x)$  задана аналітично (у вигляді формули), то областю визначення є множина значень аргументна при яких вона існує, тобто приймає певне дійсне значення.

При знаходженні області визначення функції потрібно пам'ятати, що: корінь парного степеня існує лише для невід'ємних чисел; знаменник дроби має бути відмінним від нуля; логарифм існує тільки для додатних чисел; вирази, що стоять під знаком функцій  $\arcsin U$  та  $\arccos U$ , за модулем не перевищують одиниці.

**Приклад 1.** Знайти область визначення функцій:

$$\text{а) } f(x) = \frac{\sqrt{4-x^2}}{x-1}; \quad \text{б) } f(x) = \arcsin \frac{x-3}{2} - \lg(4-x).$$

**Розв'язання.**

а) При знаходженні області визначення даної функції потрібно згадати, що корінь парного степеня може існувати лише для невід'ємних чисел, а знаменник дроби повинен бути відмінним від нуля. Ці умови повинні виконуватись одночасно. А тому шукана область визначення являє собою розв'язок системи:

$$\begin{cases} 4 - x^2 \geq 0, \\ x - 1 \neq 0; \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x^2 \leq 4, \\ x \neq 1; \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} |x| \leq 2, \\ x \neq 1; \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} -2 \leq x \leq 2, \\ x \neq 1. \end{cases}$$

Зобразимо її на рисунку.

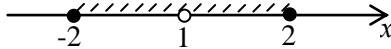


Рис.3

Відповідь:  $D(y) = \{x : x \in [-2; 1) \cup (1; 2]\}$ .

б) З того, що логарифм існує для строго додатних чисел, а вираз, який міститься під знаком функції  $\arcsin$ , за модулем не перевищує одиниці, маємо систему:

$$\begin{cases} 4 - x > 0, \\ \left| \frac{x - 3}{2} \right| \leq 1; \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x < 4, \\ -2 \leq x - 3 \leq 2; \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x < 4, \\ 1 \leq x \leq 5. \end{cases}$$

Зобразимо область визначення даної функції на рисунку.

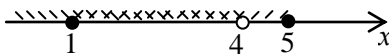


Рис.4

Відповідь:  $D(y) = \{x : x \in [1; 4]\}$ .

Розглянемо функцію  $y = f(x)$ , визначену у деякому околі точки  $x = a$ , крім можливо самої точки. З цього околу виберемо довільну послідовність значень аргументу  $x$  :

$$x_1, x_2, x_3, \dots, x_n, \dots, \quad x_n \neq a,$$

яка збігається до  $a$  .

Нехай вибраній послідовності відповідає послідовність значень функції  $y = f(x)$  :

$$f(x_1), f(x_2), f(x_3), \dots, f(x_n), \dots,$$

яка збігається до числа  $A$ , тоді число  $A$  називають границею функції  $y = f(x)$  в точці  $a$  і записують  $\lim_{n \rightarrow a} f(x) = A$  .

Якщо  $A = 0$ , то функція  $y = f(x)$  називається нескінченно малою при  $x \rightarrow a$ , якщо  $A$  – один із символів  $\infty, +\infty, -\infty$ , то функція  $y = f(x)$  називається нескінченно великою при  $x \rightarrow a$  .

Зазначимо, що в усіх розглянутих означеннях  $a$  може бути  $\infty, +\infty$  або  $-\infty$  .



Нескінченно малі і нескінченно великі функції пов'язані між собою, а саме:

Якщо  $f(x)$  – нескінченно мала функція в точці  $a$  і в деякому околі цієї точки  $f(x) \neq 0$ , то функція  $\frac{1}{f(x)}$  нескінченно велика в точці  $a$ . Якщо  $f(x)$  – нескінченно велика в точці  $a$ , то функція  $\frac{1}{f(x)}$  нескінченно мала в цій точці.

У випадку коли при  $x \rightarrow a$  функції  $f_1(x)$  і  $f_2(x)$  мають скінченні границі, то:

$$\begin{aligned} \lim_{x \rightarrow a} [f_1(x) \pm f_2(x)] &= \lim_{x \rightarrow a} f_1(x) \pm \lim_{x \rightarrow a} f_2(x); \\ \lim_{x \rightarrow a} (f_1(x) \cdot f_2(x)) &= \lim_{x \rightarrow a} f_1(x) \cdot \lim_{x \rightarrow a} f_2(x); \\ \lim_{x \rightarrow a} \frac{f_1(x)}{f_2(x)} &= \frac{\lim_{x \rightarrow a} f_1(x)}{\lim_{x \rightarrow a} f_2(x)}, \text{ при умові що } \lim_{x \rightarrow a} f_2(x) \neq 0. \end{aligned}$$

Якщо функція  $f(x)$  елементарна і визначена в точці  $a$ , то  $\lim_{x \rightarrow a} f(x) = f(a)$ . Якщо функції  $f_1(x)$  і  $f_2(x)$  при  $x \rightarrow a$  одночасно або нескінченно малі або нескінченно великі, то при знаходженні  $\lim_{x \rightarrow a} \frac{f_1(x)}{f_2(x)}$  маємо невизначеність типу  $\frac{0}{0}$  або  $\frac{\infty}{\infty}$ .

Розглянемо приклади на розкриття цих невизначеностей.

**Приклад 2.** Обчислити границі:

$$a) \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{3x^2 - 5x + 7}{4x^3 + x^2 - 3}; \quad б) \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{4x^3 + x - 3}{5x^3 - 3x^2 + 2}; \quad в) \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{2x^5 + 3x - 4}{5x^4 - 2x^2 + 5}$$

**Розв'язання.** У всіх трьох випадках маємо невизначеності типу  $\frac{\infty}{\infty}$ . Поділимо чисельники і знаменники дробів на найбільший степінь полінома в кожному знаменнику, тобто в першому і другому випадку на  $x^3$ , а в третьому – на  $x^4$ . Отримаємо:

$$a) \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{3x^2 - 5x + 7}{4x^3 + x^2 - 3} = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\frac{3}{x} - \frac{5}{x^2} + \frac{7}{x^3}}{4 + \frac{1}{x} - \frac{3}{x^3}} = \frac{\lim_{x \rightarrow \infty} \left( \frac{3}{x} - \frac{5}{x^2} + \frac{7}{x^3} \right)}{\lim_{x \rightarrow \infty} \left( 4 + \frac{1}{x} - \frac{3}{x^3} \right)} = \frac{0}{4} = 0$$

;

$$б) \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{4x^3 + x - 3}{5x^3 - 3x^2 + 2} = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{4 + \frac{1}{x^2} - \frac{3}{x^3}}{5 - \frac{3}{x} + \frac{2}{x^3}} = \frac{\lim_{x \rightarrow \infty} \left( 4 + \frac{1}{x^2} - \frac{3}{x^3} \right)}{\lim_{x \rightarrow \infty} \left( 5 - \frac{3}{x} + \frac{2}{x^3} \right)} = \frac{4}{5}$$

;

$$в) \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{2x^5 + 3x - 4}{5x^4 - 2x^2 + 5} = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{2x + \frac{3}{x^3} - \frac{4}{x^4}}{5 - \frac{2}{x^2} + \frac{5}{x^4}} = \infty.$$

**Приклад 3.** Обчислити границю  $\lim_{x \rightarrow 2} \frac{x^2 - 5x + 6}{3x^2 + 2x - 16}$ .

**Розв'язання.** Маємо невизначеність  $\frac{0}{0}$ . Розкладемо поліноми, які є в чисельнику і знаменнику, на множники. Відомо, що  $ax^2 + bx + c = a(x - x_1)(x - x_2)$ , де  $x_1, x_2$  – корені рівняння  $ax^2 + bx + c$ , а також  $x_1 \cdot x_2 = \frac{c}{a}$ .

Отримуємо: для чисельника  $x_1 = 2, 2x_2 = 6, x_2 = 3$ , тому  $x^2 - 5x + 6 = (x - 2)(x - 3)$ ; для знаменника  $x_1 = 2, 2x_2 = -\frac{16}{3}, x_2 = -\frac{8}{3}$ , тому  $3x^2 + 2x - 16 = 3(x - 2)(x + \frac{8}{3}) = (x - 2)(3x + 8)$ .

Отже,

$$\lim_{x \rightarrow 2} \frac{x^2 - 5x + 6}{3x^2 + 2x - 16} = \lim_{x \rightarrow 2} \frac{(x - 2)(x - 3)}{(x - 2)(3x + 8)} = \lim_{x \rightarrow 2} \frac{x - 3}{3x + 8} = \lim_{x \rightarrow 2} \frac{2 - 3}{6 + 8} =$$

$= -\frac{1}{14}$ . Зауважимо, що скорочення на  $x-2$  можливе, оскільки  $x \rightarrow 2$ , але  $x \neq 2$ .

Границі такого типу можна знаходити іншим способом. Досить поділити поліноми чисельника і знаменника на  $x-a$ , не розкладаючи їх на множники. Цей метод особливо зручний для поліномів вищих степенів.

**Приклад 4.** Обчислити границю  $\lim_{x \rightarrow 3} \frac{2x^2 - 3x - 9}{3x^2 - 5x - 12}$ .

**Розв'язання.** Маємо невизначеність  $\frac{0}{0}$ . Поділимо чисельник

і знаменник на  $x-3$ :

$$\begin{array}{l} 2x^2 - 3x - 9 \mid x-3 \quad 3x^2 - 5x - 12 \mid x-3 \\ \underline{2x^2 - 6x} \quad \underline{2x+3}; \quad \underline{3x^2 - 9x} \quad \underline{3x+4}. \\ 3x-9 \quad \quad \quad 4x-12 \\ \underline{3x-9} \quad \quad \quad \underline{4x-12} \\ 0 \quad \quad \quad 0 \end{array}$$

Отримаємо:  $\lim_{x \rightarrow 3} \frac{2x^2 - 3x - 9}{3x^2 - 5x - 12} = \lim_{x \rightarrow 3} \frac{2x+3}{3x+4} = \frac{9}{13}$ .

**Приклад 5.** Обчислити границю  $\lim_{x \rightarrow 4} \frac{\sqrt{2x+1}-3}{x-4}$ .

**Розв'язання.** В цьому випадку маємо невизначеність  $\frac{0}{0}$ .

Помножимо і поділимо дріб, який є під знаком границі, на вираз  $\sqrt{2x+1}+3$ , спряжений чисельнику. У результаті отримаємо:

$$\begin{aligned} \lim_{x \rightarrow 4} \frac{\sqrt{2x+1}-3}{x-4} &= \lim_{x \rightarrow 4} \frac{(\sqrt{2x+1}-3)(\sqrt{2x+1}+3)}{(x-4)(\sqrt{2x+1}+3)} = \lim_{x \rightarrow 4} \frac{2x+1-9}{(x-4)(\sqrt{2x+1}+3)} = \\ &= \lim_{x \rightarrow 4} \frac{2(x-4)}{(x-4)(\sqrt{2x+1}+3)} = \lim_{x \rightarrow 4} \frac{2}{\sqrt{2x+1}+3} = \frac{2}{6} = \frac{1}{3}. \end{aligned}$$

При знаходженні границь часто доводиться використовувати дві важливі границі. Зокрема, при розкритті невизначеностей  $\frac{0}{0}$ , що містять тригонометричні функції використовують границю  $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin x}{x} = 1$ , яка називається першою важливою границею.

Для розкриття невизначеності виду  $1^\infty$  використовується друга важлива границя

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{x}\right)^x = e, \text{ або } \lim_{x \rightarrow 0} (1+x)^{\frac{1}{x}} = e,$$

та як наслідок

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{k}{x}\right)^x = e^k \text{ і } \lim_{x \rightarrow 0} (1+kx)^{\frac{1}{x}} = e^k,$$

де  $e$  – число Ейлера,  $k$  – будь-яке дійсне число.

**Приклад 6.** Знайти границі функцій:

$$\text{а) } \lim_{x \rightarrow 0} \frac{1 - \cos 8x}{x^2}; \text{ б) } \lim_{x \rightarrow \infty} \left(\frac{2x-1}{2x+3}\right)^{3x+2}.$$

**Розв'язання.**

а) Для знаходження даної границі використаємо наслідок з першої визначної границі  $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin kx}{x} = k$ . У нашому випадку

$$\begin{aligned} \lim_{x \rightarrow 0} \frac{1 - \cos 8x}{x^2} &= |1 - \cos 8x = 2 \sin^2 4x| = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{2 \sin^2 4x}{x^2} = 2 \lim_{x \rightarrow 0} \left(\frac{\sin 4x}{x}\right)^2 = \\ &= 2 \cdot 4^2 = 32. \end{aligned}$$

б) При  $x \rightarrow \infty$  маємо неозначеність виду  $(1^\infty)$ . Щоб її розкрити скористаємося наслідком з другої визначної границі

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{k}{x}\right)^x = e^k.$$

Для цього поділимо чисельник і знаменник основи степеня на  $2x$ . Маємо:

$$\begin{aligned} \lim_{x \rightarrow \infty} \left( \frac{2x-1}{2x+3} \right)^{3x+2} &= \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\left(1 - \frac{1}{2x}\right)^{3x+2}}{\left(1 + \frac{3}{2x}\right)^{x+1}} = \frac{\lim_{x \rightarrow \infty} \left[ \left(1 - \frac{1}{2x}\right)^x \right]^3 \cdot \lim_{x \rightarrow \infty} \left(1 - \frac{1}{2x}\right)^2}{\lim_{x \rightarrow \infty} \left[ \left(1 + \frac{3}{2x}\right)^x \right]^3 \cdot \lim_{x \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{3}{2x}\right)^2} = \\ &= \frac{e^{\left(-\frac{1}{2}\right) \cdot 3} \cdot 1}{e^{\frac{3}{2} \cdot 3} \cdot 1} = \frac{e^{-\frac{3}{2}}}{e^{\frac{9}{2}}} = e^{-6} = \frac{1}{e^6}. \end{aligned}$$

Функція  $y = f(x)$  називається неперервною в точці  $x_0$ , якщо вона визначена в околі цієї точки і в самій точці, і якщо  $\lim_{x \rightarrow x_0} f(x) = f(x_0)$ .

Елементарна функція неперервна в точках, у яких вона визначена.

Якщо функція є неперервною в точці  $x_0$ , то ця точка називається точкою розриву.

Якщо  $x_0$  – точка розриву, але існують границі  $\lim_{x \rightarrow x_0-0} f(x)$  і  $\lim_{x \rightarrow x_0+0} f(x)$ , то вона називається точкою розриву першого роду. Зокрема, якщо ці границі рівні то точка  $x_0$  називається точкою усувного розриву. Якщо ж хоча б одна з границь  $\lim_{x \rightarrow x_0-0} f(x)$  і  $\lim_{x \rightarrow x_0+0} f(x)$  нескінченна або не існує, то  $x_0$  називається точкою розриву другого роду.

**Приклад 7.** Дослідити на неперервність функцію  $y = \frac{x+4}{x^2+2}$ .

**Розв'язання.** Задана функція елементарна і визначена на всій числовій осі. Тому функція неперервна на всій числовій осі.

**Приклад 8.** Дослідити на неперервність функцію  $y = \frac{x^2+5}{x-2}$ .

**Розв'язання.** Область визначення функції  $x \in (-\infty; 2) \cup (2; +\infty)$ . В усіх точках області визначення функція неперервна. В точці  $x=2$  функція невизначена, тому точка  $x=2$  є точкою розриву. Знаходимо односторонні границі:

$$\lim_{x \rightarrow 2-0} \frac{x^2 + 5}{x - 2} = -\infty; \quad \lim_{x \rightarrow 2+0} \frac{x^2 + 5}{x - 2} = +\infty.$$

Отже,  $x=2$  – точка розриву другого роду.

**Приклад 9.** Дослідити на неперервність функцію  $y = \operatorname{arctg} \frac{1}{x-3}$ .

**Розв'язання.** Область визначення функції  $x \in (-\infty; 3) \cup (3; +\infty)$ . Функція є неперервною для  $x \neq 3$  як елементарна функція. Точка  $x=3$  є точкою розриву. Знаходимо односторонні границі:

оскільки  $\lim_{x \rightarrow 3-0} \frac{1}{x-3} = -\infty$  і  $\lim_{x \rightarrow 3+0} \frac{1}{x-3} = +\infty$ , то маємо

$$\lim_{x \rightarrow 3-0} \operatorname{arctg} \frac{1}{x-3} = -\frac{\pi}{2}; \quad \lim_{x \rightarrow 3+0} \operatorname{arctg} \frac{1}{x-3} = \frac{\pi}{2}.$$

Отже,  $\lim_{x \rightarrow 3-0} f(x) \neq \lim_{x \rightarrow 3+0} f(x)$ , тому точка  $x=3$  є точкою розриву першого роду.

**Приклад 10.** Дослідити функцію на неперервність і побудувати її графік:

$$f(x) = \begin{cases} (x-1)^2, & \text{якщо } x \leq 2, \\ 5-x, & \text{якщо } x > 2. \end{cases}$$

**Розв'язання.** Функція визначена для всіх  $x \in \mathbb{R}$ . Розрив можливий лише в точці  $x=2$ , при переході через яку функція змінює свій аналітичний вираз.

Знаходимо односторонні границі:

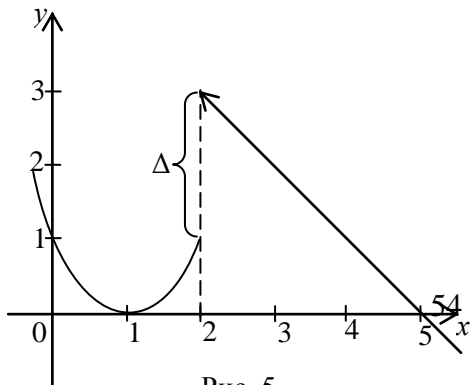


Рис. 5

$$f(2-0) = \lim_{x \rightarrow 2-0} (x-1)^2 = 1,$$

$$f(2+0) = \lim_{x \rightarrow 2+0} (5-x) = 3.$$

В точці  $x=2$  функція має скінченний розрив (розрив першого роду).

“Стрибок” функції:  $\Delta = f(2+0) - f(2-0) = 3 - 1 = 2$ .

### Завдання для самоконтролю

1. Знайти область визначення функцій:

а)  $f(x) = \sqrt{x+1}$ ; б)  $f(x) = \frac{1}{x^2 - 4x + 3}$ ; в)

$f(x) = \ln(x^2 - 9)$ ;

г)  $f(x) = \frac{1}{\sqrt{9-x^2}} + \arccos \frac{x-2}{x}$ ;

д)  $f(x) = 2^{x^2+3} + \arctg(7x+1)$ .

2. Знайти границі функцій:

а)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{3x^2 - 6x + 1}{5x^2 + x - 2}$ ; б)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{3x + 1}{x^2 - 5x + 3}$ ; в)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{4x^2 - 6x + 7}{x + 1}$ ;

г)  $\lim_{x \rightarrow 2} \frac{x^2 - 6x + 8}{x^2 - 8x + 12}$ ; д)  $\lim_{x \rightarrow -3} \frac{2x^2 + 9x + 9}{3 - 5x - 2x^2}$ ; е)  $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sqrt{x+4} - 2}{x}$ ;

є)  $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin 3x}{\sin 2x}$ ; ж)  $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{1 - \cos 5x}{x^2}$ ; з)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \left( \frac{8x+1}{8x+5} \right)^{x+1}$ .

3. Дослідити функцію на неперервність і побудувати її графік:

$$f(x) = \begin{cases} x-1, & \text{якщо } x < 1, \\ x^2 + 2, & \text{якщо } \geq 1. \end{cases}$$

## Тема 4. Диференціальне числення функції однієї змінної

Похідною функції  $y = f(x)$  в точці  $x$  називається границя

$$\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta y}{\Delta x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{f(x + \Delta x) - f(x)}{\Delta x}. \text{ Похідна позначається символами}$$

$f'(x)$ ,  $y'$ ,  $y'_x$ ,  $\frac{dy}{dx}$ . Якщо  $\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta y}{\Delta x}$  нескінченна або не існує, то

будемо говорити, що похідна в точці  $x$  не існує. Функція називається диференційованою в точці, якщо вона в ній має похідну.

Щоб знайти похідну функції  $y = f(x)$  за означенням, потрібно знайти в такій послідовності: 1)  $f(x + \Delta x)$ ;

2)  $\Delta y = f(x + \Delta x) - f(x)$ ; 3)  $\frac{\Delta y}{\Delta x}$ ; 4)  $\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta y}{\Delta x}$ .

Фізичний зміст похідної: якщо деякий процес описується функцією  $f(x)$ , то похідна  $f'(x)$  є швидкість зміни цього процесу.

Геометричний зміст: похідна функції  $f(x)$  в точці  $x_0$  – кутовий коефіцієнт дотичної до графіка функції в точці  $(x_0; f(x_0))$ . Тому дотична і нормаль до графіка функції  $y = f(x)$  в точці  $(x_0; f(x_0))$  задаються відповідно рівняннями:

$$y - f(x_0) = y'(x_0)(x - x_0) \text{ і } y - f(x_0) = -\frac{1}{f'(x_0)}(x - x_0).$$

Розглянемо складну функцію  $y = f(u)$ , де  $u = u(x)$ . Якщо функція  $u = u(x)$  диференційована в точці  $x$ , а функція  $y = f(u)$  диференційована у відповідній точці  $u = u(x)$ , то складна функція  $y = f(u(x))$  диференційована в точці  $x$ , при чому  $y' = f'(u)u'(x)$ .

**Приклад 1.** Знайти похідну функції  $y = tg4x$ , виходячи з її означення.



**Розв'язання.** Надаємо  $x$  деякого приросту  $\Delta x$  і знаходимо:

1)  $f(x + \Delta x) = tg(4x + 4\Delta x)$ ;

2)  $\Delta y = tg(4x + 4\Delta x) - tg 4x = \frac{\sin 4\Delta x}{\cos(4x + 4\Delta x) \cdot \cos 4x}$ ;

3)  $\frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{\sin 4\Delta x}{\Delta x \cdot \cos(4x + 4\Delta x) \cdot \cos 4x}$ ;

4)  $y' = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta y}{\Delta x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\sin 4\Delta x}{\Delta x} \cdot \frac{1}{\cos(4x + 4\Delta x) \cdot \cos 4x} = \frac{4}{\cos^2 4x}$ .

**Приклад 2.** Знайти похідну функції:

a)  $y = 3x^3 - 4x^2 + 5x - 3$ ; б)  $y = \frac{2}{x} + \frac{3}{x^2} - \frac{5}{x^4}$ ;

в)  $y = 3^{\sin^3 4x}$ ; г)  $y = \sin^4 3x$ ; д)  $y = x^3 \cos x$ ;

e)  $y = \frac{\cos x}{1 - \sin x}$ ; є)  $y = x^{\cos x}$ .

**Розв'язання.**

a)  $y' = (3x^3 - 4x^2 + 5x - 3)' = 9x^2 - 8x + 5$ ;

б) Ввівши від'ємні показники, перетворимо дану функцію:

$y = 2x^{-1} + 3x^{-2} - 5x^{-4}$ , тоді

$y' = -2x^{-2} - 6x^{-3} + 20x^{-5} = -\frac{2}{x^2} - \frac{6}{x^3} + \frac{20}{x^5}$ ;

в) Використавши формулу для обчислення похідної складної

функції маємо:  $y' = 3^{\sin^3 4x} \ln 3 \cdot 3 \sin^2 4x \cdot \cos 4x \cdot 4 =$

$= 12 \cdot 3^{\sin^3 4x} \ln 3 \cdot \sin^2 4x \cdot \cos 4x$ ;

г)  $y' = 4 \sin^3 3x \cdot \cos 3x \cdot 3 = 12 \sin^3 3x \cdot \cos 3x$ ;

д) Для знаходження похідної функції  $y = x^3 \cos x$ , використаємо формулу похідної добутку:

$y' = 3x^2 \cos x + x^3 (-\sin x) = 3x^2 \cos x - x^3 \sin x$ ;

е) Користуючись правилом диференціювання частки, маємо:

$y' = \frac{-\sin x(1 - \sin x) + \cos^2 x}{(1 - \sin x)^2} = \frac{-\sin x + \sin^2 x + \cos^2 x}{(1 - \sin x)^2} =$

$$= \frac{1 - \sin x}{(1 - \sin x)^2} = \frac{1}{1 - \sin x};$$

є) Використаємо метод логарифмічного диференціювання. Для цього прологарифмуємо обидві частини рівності  $y = x^{\cos x}$ :

$\ln y = \cos x \cdot \ln x$ . Знайдемо похідну обох частин цієї рівності:

$$(\ln y)' = \frac{y'}{y} = (\cos x \cdot \ln x)' = -\sin x \cdot \ln x + \frac{\cos x}{x}.$$

Отже,  $y' = x^{\cos x} \left( \frac{\cos x}{x} - \sin x \cdot \ln x \right)$ .

**Приклад 3.** Користуючись правилами диференціювання, знайти похідні  $y'_x$  заданих функцій:

$$a) \begin{cases} x = t^4 e^{at}, \\ y = t^3 e^{at}, \text{ де } a > 0; \end{cases} \quad б) y = \operatorname{tg} x, \quad y'' - ?$$

**Розв'язання.**

а) Похідну  $y'_x$  параметрично заданої функції визначимо за

формулою  $y'_x = \frac{y'_t}{x'_t} \begin{cases} x = t^4 e^{at}, \\ y = t^3 \cdot e^{at}, \text{ де } a > 0; \end{cases} \quad (uv)' = u'v + uv'$ ;

Знаходимо  $y'_t = 3t^2 e^{at} + at^3 e^{at} = t^2 e^{at} (3 + at)$ ;  $(e^{2t})' = 2e^{2t}$   
 $x'_t = 4t^3 e^{at} + at^4 e^{at} = t^3 e^{at} (4 + at)$ .

Тоді  $y'_x = \frac{t^2 e^{at} (3 + at)}{t^3 e^{at} (4 + at)} = \frac{3 + at}{t(4 + at)}$ .  $\left( \frac{1}{u} \right)' = -\frac{1}{u^2} \cdot u'$ ;

є) Знаходимо послідовно першу і другу похідні даної функції:

$$y' = (\operatorname{tg} x)' = \frac{1}{\cos^2 x}; \quad y'' = \left( \frac{1}{\cos^2 x} \right)' = -\frac{2 \cos x (-\sin x)}{\cos^4 x} = \frac{2 \sin x}{\cos^3 x}.$$

**Приклад 4.** Обчислити наближено  $\operatorname{arctg} 0,98$ .

**Розв'язання.** Для знаходження наближеного значення функції,

використаємо формулу  $f(x_0 + \Delta x) \approx f(x_0) + f'(x_0)\Delta x$ . В нашому випадку  $\arctg 0,98$  – значення функції  $f(x) = \arctg x$  при  $x = x_0 + \Delta x = 0,98$ . Покладемо  $x_0 = 1$  (значення, близьке до 0,98, при якому  $\arctg x$  легко обчислюється без таблиці:  $\arctg x_0 = \arctg 1 =$

$$= \frac{\pi}{4}). \text{ Тоді } \Delta x = 0,98 - 1 = -0,02.$$

$$\text{Оскільки } f'(x) = \frac{1}{1+x^2}, \text{ то } f'(x_0) = f'(1) = \frac{1}{2}.$$

Отже,

$$\arctg 0,98 = \arctg(1 + (-0,02)) \approx \frac{\pi}{4} + \frac{1}{2}(-0,02) \approx 0,7754.$$

**Приклад 5.** Знайти рівняння дотичної і нормалі до кривої  $y = x^4 + 3$  в точці  $M_0(1;4)$ .

**Розв'язання.** Рівняння дотичної і нормалі до графіка функції  $y = f(x)$  в точці  $M(x_0; y_0)$  відповідно мають вигляд:

$$y - f(x_0) = f'(x_0)(x - x_0) \text{ і } y - f(x_0) = -\frac{1}{f'(x_0)}(x - x_0).$$

Знайдемо похідну заданої функції і її значення в точці  $M$ :  $f'(x) = 4x^3$ ,  $f'(1) = 4$ . Тоді  $y - 4 = 4(x - 1)$  або  $4x - y = 0$  - рівняння дотичної, а

$$y - 4 = -\frac{1}{4}(x - 1),$$

$x + 4y - 17 = 0$  - рівняння нормалі.

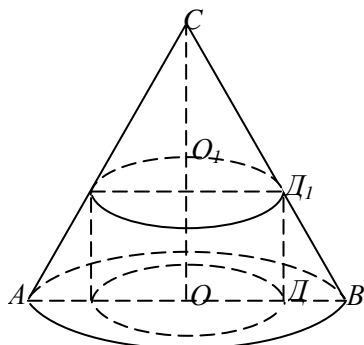


Рис. 6

**Приклад 6.** Знайти найбільший об'єм циліндра, вписаного в заданий конус.

**Розв'язання.**

1) *Визначаємо, які величини фіксовані (відомі з умови задачі), а які змінні.*

Оскільки задано конус, то  $AO=R$  і  $OC=H$  – фіксовані величини.

В конус можна вписати багато циліндрів, змінюючи його висоту  $OO_1$  і радіус  $O_1D_1$ . Тому  $OO_1=x$  і  $O_1D_1=y$  – змінні величини (невідомі).

2) *Вибираємо незалежну змінну.*

Нехай висота циліндра  $OO_1=x$  – незалежна змінна – аргумент, причому  $x \in [0;H]$ .

3) *За умовою задачі визначаємо функцію двох змінних  $z = f(x;y)$ .*

У нашому випадку об'єм циліндра  $V=V(x;y)=\pi xy^2$  – шукана функція.

4) *Виражаємо одну змінну через іншу.*

Для нашого випадку виразимо змінну  $y$  через змінну  $x$ .

З подібності трикутників  $BOC$  і  $D_1O_1C$  випливає, що

$$\frac{R}{y} = \frac{H}{H-x}, \quad y = \frac{R(H-x)}{H}.$$

Тоді  $V = \pi x \left( \frac{R(H-x)}{H} \right)^2 = \frac{\pi R^2}{H^2} x(H-x)^2$  – досліджувана

функція.

5) *Знаходимо критичні точки знайденної функції.*

$$V'(x) = \frac{\pi R^2}{H^2} ((H-x)^2 - 2x(H-x)) = \frac{\pi R^2}{H^2} (H-x)(H-3x).$$

$$V'(x) = 0 \Rightarrow x_1 = H \text{ і } x_2 = \frac{H}{3}.$$

Оскільки при  $x < \frac{H}{3}$   $V'(x) > 0$ , а при  $x > \frac{H}{3}$   $V'(x) < 0$

то в точці  $x = \frac{H}{3}$  – функція має максимум.

Отже, максимальний об'єм циліндра

$$V = V\left(\frac{H}{3}\right) = \frac{\pi R^2}{H^2} \cdot \frac{H}{3} \left(H - \frac{H}{3}\right)^2 = \frac{4}{27} \pi R^2 H.$$

**Приклад 7.** Подати число 66 у вигляді суми двох доданків так, щоб добуток цих чисел був найбільшим.

**Розв'язання.** Нехай одне із задуманих чисел  $x$ , а друге –  $y$ . За умовою задачі  $x+y=66$ , звідки  $y=66-x$ . Добуток чисел  $P=xy=x(66-x)=66x-x^2$  – досліджувана функція. Знаходимо  $P'(x)=66-2x$ .  $P'(x)=0$  при  $x=33$ . Ця точка буде критичною. Оскільки  $P''(x)=-2 < 0$ , то в точці  $x=33$  досліджувана функція має максимум. При цьому  $y=66-33=33$ .

Отже, добуток чисел буде найбільшим, якщо  $x=y=33$ .

### Завдання для самоконтролю

1. Користуючись правилами диференціювання, знайти похідні  $y'_x$  заданих функцій:

а)  $y = 4^{\cos^2 x} + x^7 \operatorname{arctg} 2x$ ; б)  $y = \ln \sqrt[8]{\left(\frac{8x-1}{x^8+3}\right)^5}$ ;

в)  $y = (\cos x)^{\operatorname{arctg} x}$ ; г)  $\begin{cases} x = \frac{1}{t+1}, \\ y = \frac{t}{t+1}; \end{cases}$  д)  $y = x^2 \sin 2x$ ,  $y''' - ?$

2. Обчислити наближено

а)  $\ln 0,9$ ; б)  $\sqrt[4]{15,8}$ .

3. Знайти рівняння дотичної і нормалі до кривої  $y = \frac{3x-4}{2x-3}$  в

точці  $M_0(2;2)$ .

4. Визначити найменшу площу рівнобедреного трикутника, описаного навколо кола радіуса  $r$ .

## Тема 5. Функції декількох змінних

Нехай задано множину  $D$  пар чисел  $(x; y)$ , якщо кожній парі чисел  $(x; y) \in D$  за певним правилом відповідає єдине число  $z$ , то на множині  $D$  визначена функція  $z$  від двох змінних  $x$  і  $y$  і записується  $z = f(x, y)$ . Множина  $D$  в цьому випадку називається областю визначення функції. Аналогічно визначається функція трьох змінних. Оскільки кожній парі чисел  $(x; y)$  відповідає єдина точка  $M(x, y)$  площини  $Oxy$ , то замість  $z = f(x, y)$  можна писати  $z = f(M)$ .

Функція двох змінних може бути задана в просторі у вигляді поверхні, що визначається рівнянням  $z = f(x, y)$ . Також функцію  $z = f(x, y)$  можна задати лініями рівня, рівняння яких  $f(x, y) = C$ , де  $C$  – константа. Якщо константи  $C_1, C_2, \dots, C_m, \dots$  утворюють арифметичну прогресію, то отримаємо набір ліній рівня. Там, де лінії розміщення густіше, функція змінюється швидше.

Областю визначення аналітично заданої функції  $z = f(x, y)$  є множина пар чисел  $(x; y)$ , яким відповідають дійсні значення цієї функції. Геометрично, область визначення функції  $z = f(x, y)$  є нескінченною або скінченною частиною координатної площини  $Oxy$ , обмеженої однією або декількома кривими.

Частинні і повний прирости функції  $z = f(x, y)$  визначаються відповідно за формулами:

$$\Delta_x z = z(x + \Delta x, y) - z(x, y), y = const,$$

$$\Delta_y z = z(x, y + \Delta y) - z(x, y), x = const,$$

$$\Delta z = z(x + \Delta x, y + \Delta y) - z(x, y).$$

Для функції  $z = f(x, y)$  частинні похідні першого порядку визначаються:

$$\frac{\partial z}{\partial x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta_x z}{\Delta x}, \quad y = \text{const};$$

$$\frac{\partial z}{\partial y} = \lim_{\Delta y \rightarrow 0} \frac{\Delta_y z}{\Delta y}, \quad x = \text{const}.$$

Частинні похідні першого порядку можна також позначати  $z'_x$  і  $z'_y$ .

У загальному випадку частинні похідні  $\frac{\partial z}{\partial x}$  і  $\frac{\partial z}{\partial y}$  функції  $z = f(x, y)$  є також функціями змінних  $x$  і  $y$ . Диференціюючи їх знову по цих змінних, отримуємо чотири частинні похідних другого порядку :

У загальному випадку частинні похідні  $\frac{\partial z}{\partial x}$  і  $\frac{\partial z}{\partial y}$  функції  $z = f(x, y)$  є також функціями змінних  $x$  і  $y$ . Диференціюючи їх знову по цих змінних, отримуємо чотири частинні похідних другого порядку :

$$z''_{xx} = (z'_x)'_x = \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial z}{\partial x} \right) = \frac{\partial^2 z}{\partial x^2}, \quad z''_{xy} = (z'_x)'_y = \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\partial z}{\partial x} \right) = \frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y},$$

$$z''_{yx} = (z'_y)'_x = \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial z}{\partial y} \right) = \frac{\partial^2 z}{\partial y \partial x}, \quad z''_{yy} = (z'_y)'_y = \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\partial z}{\partial y} \right) = \frac{\partial^2 z}{\partial y^2}.$$

Частинні похідні одного порядку  $z''_{xy}$ ,  $z''_{yx}$ , що відрізняються порядком диференціювання називають *мішаними*.

Градiєнтом функції  $z = f(x, y)$  в точці  $M(x, y)$  називається вектор, що визначається за формулою

$$\text{grad } z = z'_x(x, y)\vec{i} + z'_y(x, y)\vec{j}.$$

З фізичної точки зору  $\text{grad } z$  в точці  $M(x, y)$  вказує напрямком найбільшої зміни функції.

Похідна функції  $z = f(x, y)$  по напрямку вектора  $\vec{s} = (\cos \alpha, \cos \beta)$  в точці  $M(x, y)$  визначається

$$\frac{\partial z}{\partial s} = \frac{\partial z}{\partial x} \cos \alpha + \frac{\partial z}{\partial y} \cos \beta,$$

де  $\alpha, \beta$  - кути, які утворює вектор  $\vec{s}$  з осями  $OX$  та  $OY$  відповідно.

Похідна  $\frac{\partial z}{\partial s}$  в точці  $M(x, y)$  визначає швидкість зміни функції  $z = f(x, y)$  в напрямку вектора  $\vec{s}$ .

Функція  $z = f(x, y)$  має в точці  $M_0(x_0, y_0)$  максимум (мінімум), якщо існує окіл точки  $M_0$  для всіх точок якого, крім самої точки  $M_0$ , виконується нерівність  $f(x_0, y_0) > f(x, y)$  ( $f(x_0, y_0) < f(x, y)$ ).

Теорема (необхідні умови існування екстремуму). Якщо функція  $f(x, y)$  в точці  $(x_0, y_0)$  має екстремум і існують частинні похідні  $f'_x(x_0, y_0)$  і  $f'_y(x_0, y_0)$ , то вони дорівнюють нулю, тобто  $f'_x(x_0, y_0) = 0$ ,  $f'_y(x_0, y_0) = 0$ .

Точки, в яких частинні похідні функції дорівнюють нулю називаються стаціонарними. Але не кожна стаціонарна точка може бути точкою екстремуму. Тому для встановлення існування екстремуму в стаціонарній точці  $(x_0, y_0)$  потрібно використати достатні умови існування екстремуму. Для цього знаходимо:

$$A = f''_{xx}(x_0, y_0), \quad B = f''_{xy}(x_0, y_0), \quad C = f''_{yy}(x_0, y_0).$$

Складаємо дискримінант  $\Delta = AC - B^2$ . Тоді:

- 1) якщо  $\Delta > 0$  і  $A < 0$  ( $C < 0$ ), то в точці  $(x_0, y_0)$  маємо максимум;
- 2) якщо  $\Delta > 0$  і  $A > 0$  ( $C > 0$ ), то в точці  $(x_0, y_0)$  маємо мінімум;
- 3) якщо  $\Delta = 0$ , то для розв'язання питання про існування екстремуму потрібно провести додаткові дослідження, наприклад за знаком приросту  $\Delta f(x_0, y_0)$  поблизу точки  $(x_0, y_0)$ .



**Приклад 1.** Знайти область визначення функції  $z = \ln(x + y)$ .

**Розв'язання.** Дана функція визначена для всіх пар  $(x, y)$ , котрі задовольняють нерівність  $x + y > 0$  або  $y > -x$ . Пряма  $y = -x$  ділить площину  $Oxy$  на дві частини: множина точок однієї з них задовольняє нерівність  $y > -x$ , а друга – ні. Тому для того, щоб знайти область визначення функції, треба взяти в площині  $Oxy$  довільну точку й перевірити виконання для її координат нерівності  $y > -x$ . Візьмемо, наприклад, точку  $A(1; 0)$ . Для її координат ця нерівність виконується ( $0 > -1$ ), тому областю визначення даної функції є півплощина, яка містить цю точку, тобто, півплощина над прямою  $y = -x$  (рис. 7).

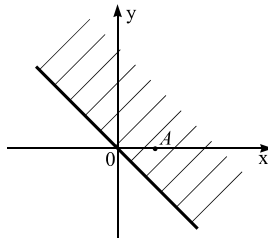


Рис. 7.

**Приклад 2.** Знайти частинні і повний прирости функції  $z = x^2 + y^2$  в точці  $M_0(2, 1)$  при  $\Delta x = 0,1$ ,  $\Delta y = 0,2$ .

**Розв'язання.**

$$\begin{aligned}\Delta_x z(M_0) &= z(x_0 + \Delta x, y_0) - z(x_0, y_0) = \\ &= ((2 + 0,1)^2 + 1^2) - (2^2 + 1^2) = \\ &= (2,1^2 + 1) - (4 + 1) = 4,41 + 1 - 4 - 1 = 0,41.\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Delta_y z(M_0) &= z(x_0, y_0 + \Delta y) - z(x_0, y_0) = \\
&= (2^2 + (1 + 0,2)^2) - (2^2 + 1^2) = \\
&= (4 + 1,44) - (4 + 1) = 4 + 1,44 - 4 - 1 = 0,44. \\
\Delta z(M_0) &= z(x_0 + \Delta x, y_0 + \Delta y) - z(x_0, y_0) = \\
&= ((2 + 0,1)^2 + (1 + 0,2)^2) - (2^2 + 1^2) = \\
&= (2,1^2 + 1,2^2) - (4 + 1) = 4,41 + 1,44 - 5 = 0,85.
\end{aligned}$$

**Приклад 3.** Знайти частинні похідні першого порядку функції  $z = 3x^2y + 5x\sqrt{y} + 2$ .

*Розв'язання.*

$$\begin{aligned}
z'_x &= (3x^2y + 5x\sqrt{y} + 2)'_x = |y = const| = 3y \cdot 2x + 5\sqrt{y} \cdot 1 + 0 = 6xy + 5\sqrt{y}. \\
z'_y &= (3x^2y + 5x\sqrt{y} + 2)'_y = |x = const| = 3x^2 \cdot 1 + 5x \frac{1}{2\sqrt{y}} + 0 = 3x^2 + \frac{5}{2\sqrt{y}}.
\end{aligned}$$

**Приклад 4.** Знайти частинні похідні другого порядку функції

$$z = \frac{7x^2 + 3x + 2}{y^2 + 7}.$$

*Розв'язання.*

$$\begin{aligned}
z'_x &= |y = const| = \frac{1}{y^2 + 7} (7 \cdot 2x + 3 \cdot 1 + 0) = \frac{14x + 3}{y^2 + 7}; \\
z''_{xx} &= (z'_x)'_x = \left( \frac{14x + 3}{y^2 + 7} \right)'_x = |y = const| = \frac{1}{y^2 + 7} (14 \cdot 1 + 0) = \frac{14}{y^2 + 7}; \\
z''_{xy} &= (z'_x)'_y = \left( \frac{14x + 3}{y^2 + 7} \right)'_y = |x = const| = (14x + 3) \left( \frac{1}{y^2 + 7} \right)'_y = \\
&= (14x + 3) \left( -\frac{1}{(y^2 + 7)^2} \right) (2y + 0) = -\frac{2y(14x + 3)}{(y^2 + 7)^2};
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
z'_y &= |x = \text{const}| = (7x^2 + 3x + 2) \cdot \left( \frac{1}{y^2 + 7} \right)' = \\
&= (7x^2 + 3x + 2) \left( -\frac{1}{(y^2 + 7)^2} \cdot (2y + 0) \right) = -\frac{2y \cdot (7x^2 + 3x + 2)}{(y^2 + 7)^2}; \\
z''_{yy} &= (z'_y)'_y = \left( -\frac{2y \cdot (7x^2 + 3x + 2)}{(y^2 + 7)^2} \right)'_y = \\
&= -2(7x^2 + 3x + 2) \left( \frac{y}{(y^2 + 7)^2} \right)'_y = \\
&= -2(7x^2 + 3x + 2) \frac{(y^2 + 7)^2 - y((y^2 + 7)'_y)}{(y^2 + 7)^4} = \\
&= -2(7x^2 + 3x + 2) \frac{(y^2 + 7)^2 - y \cdot 2(y^2 + 7) \cdot 2y}{(y^2 + 7)^4} = \\
&= \frac{-2(7x^2 + 3x + 2)(y^2 + 7)(y^2 + 7 - 4y^2)}{(y^2 + 7)^3} = \\
&= \frac{-2(7x^2 + 3x + 2)(7 - 3y^2)}{(y^2 + 7)^3}.
\end{aligned}$$

**Приклад 5.** Для функції  $z = 3xy + 5x^3 - 3y^2 + 7$  знайти значення частинних похідних другого порядку в точці  $M_0(2,1)$ .

**Розв'язання.**

$$\begin{aligned}
z'_x &= |y = \text{const}| = 3y \cdot 1 + 15x^2 - 0 = 3y + 15x^2; \\
z''_{xx} &= (z'_x)'_x = |y = \text{const}| = (3y + 15x^2)'_x = 30x; \\
z''_{xx}(M_0) &= 30 \cdot 2 = 60; \\
z'_y &= |x = \text{const}| = 3x \cdot 1 + 0 - 3 \cdot 2y + 0 = 3x - 6y; \\
z''_{yy} &= (z'_y)'_y = |x = \text{const}| = (3x - 6y)'_y = 0 - 6 \cdot 1 = -6; \\
z''_{xy} &= (z'_x)'_y = (3y + 15x^2)'_y = 3 \cdot 1 + 0 = 3;
\end{aligned}$$

$$z''_{yx} = (z'_y)'_x = (3x - 6y)'_x = 3 \cdot 1 - 0 = 3.$$

**Приклад 6.** Знайти градієнт функції  $z = 7x^2 + 5xy + y^2$  в точці  $M_0(2, -1)$ .

**Розв'язання.** Знайдемо частинні похідні функції та їх значення в точці в точці :

$$z'_x = |y = \text{const}| = 7 \cdot 2x + 5y \cdot 1 + 0 = 14x + 5y;$$

$$z'_x(M_0) = 14 \cdot 2 + 5 \cdot (-1) = 23;$$

$$z'_y = |x = \text{const}| = 5x \cdot 1 + 0 + 2y + 0 = 5x + 2y;$$

$$z'_y(M_0) = 5 \cdot 2 + 2 \cdot (-1) = 8.$$

Отже,  $\text{grad } z = 23\vec{i} + 8\vec{j} = (23, 8)$ .

**Приклад 7.** Дослідити на екстремум функцію

$$z = x^2 + xy + y^2 - 2x - y + 3.$$

**Розв'язання.** Знаходимо частинні похідні:

$$\frac{\partial z}{\partial x} = 2x + y - 2; \quad \frac{\partial z}{\partial y} = x + 2y - 1.$$

Складаємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} 2x + y - 2 = 0; \\ x + 2y - 1 = 0. \end{cases}$$

Розв'язавши цю систему рівнянь, одержимо одну стаціонарну точку  $M(1; 0)$ .

Знаходимо частинні похідні другого порядку та їх значення в стаціонарній точці:

$$\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} = 2, \quad \frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y} = 1, \quad \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} = 2;$$

$$A = f''_{xx}(1; 0) = 2, \quad B = f''_{xy}(1; 0) = 1, \quad C = f''_{yy}(1; 0) = 2.$$

Перевіримо виконання достатніх умов існування екстремумів.

Оскільки,  $\Delta = AC - B^2 = 2 \cdot 2 - 1 = 3 > 0$  і  $A = 2 > 0$ , то в точці  $M(1; 0)$  функція має мінімум. При цьому

$$z_{\min} = f(1; 0) = 1 - 2 + 3 = 2.$$

### Завдання для самоконтролю

Дослідити на екстремум функції:

1)  $z = x^2 + xy + y^2 - 6x + 9y$ ;

2)  $z = x^3 + xy^2 + 6xy$ ;

3)  $z = x^2 + xy + y^2 - 2x - y$ .

## 7. Завдання для самостійної роботи

### Самостійна робота №1. Елементи лінійної алгебри та аналітичної геометрії

#### № 1

1. Розв'язати:

а) рівняння 
$$\begin{vmatrix} 3x & -4 \\ x & -5 \end{vmatrix} = 3;$$

б) систему рівнянь 
$$\begin{cases} 2x_1 + x_2 + x_3 = 2, \\ 5x_1 + x_2 + 3x_3 = 14, \\ 2x_1 + x_2 + 2x_3 = 5. \end{cases}$$

- Дано координати вершин трикутника  $A(3;1;-1)$ ,  $B(6;5;-1)$ ,  $C(2;0;1)$ . Знайти проекцію вектора  $\overline{AC}$  на вектор  $\overline{AB}$ .
- Знайти рівняння прямої, що проходить через точки  $A(3;-2)$  і  $B(-1;1)$ .
- Скласти рівняння параболи з вершиною в початку координат, якщо вона симетрична відносно осі  $OX$  і проходить через точку  $A(9;6)$ .
- Побудувати плоску фігуру, обмежену лініями:  
 $y = -x^2 + 6x + 1$ ,  $x - y + 1 = 0$ .

#### № 2

1. Розв'язати системи рівнянь:

а) 
$$\begin{cases} 2x_1 - x_2 = 5, \\ x_1 + x_2 = 4; \end{cases}$$
 б) 
$$\begin{cases} 2x_1 - x_2 + 4x_3 = 15, \\ 3x_1 - x_2 + x_3 = 8, \\ 2x_1 - x_2 - x_3 = 0. \end{cases}$$

- Дано вектори:  $\vec{a} = (2; -1; 3)$ ,  $\vec{b} = (3; 6; 0)$ . Довести, що  $\vec{a} \perp \vec{b}$ .
- Обчислити площу трикутника, який утворений осями координат і прямою  $3x - 4y - 12 = 0$ .
- Знайти центр і радіус кола, заданого рівнянням  
 $x^2 + y^2 - 10x + 6y + 30 = 0$ .
- Побудувати плоску фігуру, обмежену лініями:

$$y = \frac{1}{x}; y = x; x = 4.$$

### № 3

1. Розв'язати :

а) нерівність  $\begin{vmatrix} 3 & 2x-1 \\ -x & -2 \end{vmatrix} > 0;$

б) систему рівнянь  $\begin{cases} 3x_1 + 2x_2 - x_3 = 4, \\ x_1 - 3x_2 + 2x_3 = 5, \\ 2x_1 + x_2 - 3x_3 = 3. \end{cases}$

- Дано координат вершин трикутника  $A(2;1;3)$ ,  $B(1;2;-1)$ ,  $C(3;-1;2)$ . Знайти: скалярний добуток векторів  $\overline{AB}$  і  $\overline{AC}$ , довжину вектора  $\overline{AB}$ .
- Написати рівняння прямої, яка проходить через точку  $M(2;1)$  паралельно до прямої  $2x+3y+4=0$ .
- Написати канонічне рівняння еліпса, якщо відстань між його фокусами дорівнює 8, а мала піввісь рівна 3.
- Побудувати плоску фігуру, обмежену лініями:  
 $y = x^2 - 4x + 4$ ,  $6x - y - 12 = 0$ .

### № 4

1. Розв'язати системи рівнянь:

а)  $\begin{cases} 2x_1 + 3x_2 = 1, \\ 3x_1 - x_2 = -4; \end{cases}$  б)  $\begin{cases} x_1 + 2x_2 + x_3 = 1, \\ 2x_1 - 3x_2 - x_3 = -4, \\ x_1 + x_2 + 2x_3 = 1. \end{cases}$

2. Вектори  $\bar{a}$  і  $\bar{b}$  утворюють кут  $\varphi = \frac{2}{3}\pi$ . Знаючи, що

$$|\bar{a}| = 3, |\bar{b}| = 4, \text{ знайти } \bar{a} \cdot (\bar{a} + \bar{b}).$$

- Знайти кут між прямими  $5x - y + 7 = 0$  і  $3x + 2y = 0$ .
- Знайти координати центра і півосі еліпса  $5x^2 + 9y^2 - 30x + 18y + 9 = 0$ .
- Побудувати плоску фігуру, обмежену лініями:  
 $y = 2x - x^2$ ,  $y = -x$ .

## № 5

1. Розв'язати:

а) рівняння  $\begin{vmatrix} x & x+1 \\ -4 & x+1 \end{vmatrix} = 0;$   
б) систему

рівнянь

$$\begin{cases} x_1 - x_2 + x_3 = 6, \\ 2x_1 + x_2 + x_3 = 3, \\ x_1 + x_2 + 2x_3 = 5. \end{cases}$$

- Дано координати вершин трикутника  $A(-1;-2;4)$ ,  $B(-4;-2;0)$ ,  $C(3;-2;1)$ . Знайти внутрішній кут при вершині  $B$ .
- Перевірити, чи належать точки  $A(3;4)$  і  $B(0;3)$  прямій  $2x-y+3=0$ .
- Скласти рівняння гіперболи, фокуси якої розміщені на осі абсцис симетрично відносно початку координат, якщо  $a=8$ ,  
 $\varepsilon = \frac{5}{4}$ .
- Побудувати плоску фігуру, обмежену лініями:  
 $y=3-x^2$ ,  $y=x-3$ .

## № 6

1. Розв'язати системи рівнянь:

а)  $\begin{cases} 5x_1 + 6x_2 = 4, \\ 2x_1 - 3x_2 = 7; \end{cases}$  б)  $\begin{cases} 2x_1 + x_2 + x_3 = 7, \\ 4x_1 - x_2 + 3x_3 = 1, \\ 8x_1 - 3x_2 + 6x_3 = -2. \end{cases}$

- Знайти проекцію вектора  $\vec{a}=(3;2;-4)$  на вектор  $\vec{b}=(-3;5;-1)$ .
- Дано вершини трикутника  $A(2;-5)$ ,  $B(1;-2)$  і  $C(4;7)$ .  
Написати рівняння його медіани, проведеної з вершини  $B$ .
- Парабола з вершиною в початку координат проходить через точку  $A(2;4)$  і симетрична відносно осі  $OX$ . Написати її рівняння.
- Побудувати плоску фігуру, обмежену лініями:  
 $y=x^3$ ,  $x=-1$ ,  $x=1$ ,  $y=0$ .

## № 7

1. Розв'язати:



а) нерівність  $\begin{vmatrix} 3x-3 & x \\ 2 & 1 \end{vmatrix} > 0;$

б) систему рівнянь 
$$\begin{cases} 3x_1 - 3x_2 + 2x_3 = 2, \\ 4x_1 - 5x_2 + 2x_3 = 1, \\ 5x_1 - 6x_2 + 4x_3 = 3. \end{cases}$$

- Знайти роботу, яку виконує сила  $\vec{F} = (3; -2; -5)$ , коли її точка прикладання рухається прямолінійно, переміщуючись із положення  $A(2; -3; 5)$  в положення  $B(3; -2; -1)$ .
- Довести, що прями  $2x - 4y + 3 = 0$  і  $x - 2y = 0$  паралельні.
- Написати канонічне рівняння еліпса, якщо велика піввісь  $a = 6$ , ексцентриситет  $\varepsilon = 0,5$ .
- Побудувати плоску фігуру, обмежену лініями:  
 $y^2 = 2x + 4$ ,  $x = 0$ .

### № 8

- Розв'язати системи рівнянь:

а)  $\begin{cases} 2x_1 + 3x_2 = 1, \\ 3x_1 + 5x_2 = 1; \end{cases}$  б)  $\begin{cases} 3x_1 + 5x_3 = -1, \\ -4x_2 - 2x_3 = 2, \\ x_1 - 3x_2 + x_3 = 2. \end{cases}$

- Обчислити значення виразу  $(3\vec{a} + 2\vec{b})(\vec{b} - \vec{a})$ , якщо

$$|\vec{a}| = 2, |\vec{b}| = 3, (\vec{a}, \vec{b}) = \frac{\pi}{6}.$$

- Дано рівняння прямої  $5x + 2y - 3 = 0$ . Визначити кутовий коефіцієнт прямої, яка паралельна даній.
- Дано гіперболу  $16x^2 - 9y^2 = 144$ . Знайти її півосі, фокуси, ексцентриситет.
- Побудувати плоску фігуру, обмежену лініями:  
 $y = x^2 - 8x + 16$ ,  $2x - y + 16 = 0$ .

### № 9

- Розв'язати:

а) рівняння  $\begin{vmatrix} 1 & 4 \\ 3x & x + 22 \end{vmatrix} = 0;$

б) систему рівнянь 
$$\begin{cases} x_1 + 3x_2 + x_3 = -2, \\ x_1 + 4x_2 + 2x_3 = -3, \\ -x_1 + 5x_2 + 3x_3 = -10. \end{cases}$$

- Довести, що чотирикутник з вершинами в точках  $A(2;1;-4)$ ,  $B(1;3;5)$ ,  $C(7;2;3)$  і  $D(8;0;-6)$  – паралелограм.
- Звести рівняння прямої  $2x+3y-6=0$  до рівняння прямої з кутовим коефіцієнтом.
- Встановити, що рівняння  $y = -\frac{1}{4}x^2 + x - 3$  визначає параболу, знайти координати її вершини і значення параметра  $p$ .
- Побудувати плоску фігуру, обмежену лініями:  
 $y = e^{-x}$ ,  $y = e^x$ ,  $y = 2$ .

#### № 10

- Розв'язати системи рівнянь:

$$\text{а) } \begin{cases} 2x_1 - 3x_2 = 6, \\ 4x_1 - 6x_2 = 5; \end{cases} \quad \text{б) } \begin{cases} 2x_1 - x_2 + x_3 = 5, \\ 3x_1 + 4x_2 - 2x_3 = -3, \\ x_1 - 3x_2 + x_3 = 4. \end{cases}$$

- Задані точки  $A(2;1;0)$ ,  $B(3;-1;1)$ ,  $C(-1;3;0)$ . Обчислити  $\overline{AB} \cdot (\overline{AC} + \overline{BC})$ .
- Звести рівняння прямої  $2x-3y-6=0$  до рівняння прямої у відрізках.
- Знайти центр і радіус кола, що задане рівнянням  $x^2+y^2+2x-4y-11=0$ .
- Побудувати плоску фігуру, обмежену лініями:  
 $y = \sqrt{x}$ ,  $y = 2\sqrt{x}$ ,  $x = 4$ .

#### № 11

- а) Знайти точку перетину двох прямих:  $3x-5y-13=0$  і  $2x+7y-81=0$ .

б) Розв'язати систему рівнянь 
$$\begin{cases} 2x_1 - 2x_2 + x_3 = -6, \\ 4x_1 + 3x_2 - x_3 = 3, \\ x_1 - 4x_2 + 2x_3 = -9. \end{cases}$$

2. Знайти довжину вектора  $\vec{p} = \vec{a} + \vec{b}$ , якщо

$$|\vec{a}| = 1, |\vec{b}| = 3, (\vec{a}, \vec{b}) = \frac{\pi}{6}.$$

3. Скласти рівняння прямої, що проходить через точку  $A(-1; -1)$  паралельно до вектора  $\vec{b} = (3; 2)$ .

4. Скласти рівняння кола, якщо точки  $A(-1; 3)$  та  $B(7; 7)$  є кінцями одного з його діаметрів.

5. Побудувати плоску фігуру, обмежену лініями:  
 $y = x^2, y = 2 - x^2$ .

### № 12

1. Розв'язати системи рівнянь:

$$\text{а) } \begin{cases} x_1 + 2x_2 = 3, \\ x_1 + x_2 = 1; \end{cases} \quad \text{б) } \begin{cases} x_1 - 2x_2 + 3x_3 = -5, \\ 4x_1 + 2x_2 - 3x_3 = 0, \\ 7x_1 - x_2 + 2x_3 = -9. \end{cases}$$

2. Дано точки  $M(-5; 7; -6)$  і  $N(7; -9; 9)$ . Обчислити проекцію вектора  $\vec{a} = (1; -3; 1)$  на вектор  $\overline{MN}$ .

3. Довести, що прямі  $3x - y + 5 = 0$  і  $x + 3y - 1 = 0$  перпендикулярні.

4. Написати канонічне рівняння еліпса, якщо його велика вісь  $2a = 10$ , а відстань між фокусами  $2c = 8$ .

5. Побудувати плоску фігуру, обмежену лініями:

$$y = \sqrt{4 - x^2}, y = 0, x = 0, x = 1.$$

### № 13

1. Розв'язати :

$$\text{а) нерівність } \left| \begin{array}{cc} 1 & x+5 \\ 2 & x \end{array} \right| < 0;$$

б) систему рівнянь 
$$\begin{cases} x_1 + 4x_2 - 2x_3 = 8, \\ -x_1 + 5x_2 + 3x_3 = -1, \\ 4x_1 - 6x_2 - x_3 = -4. \end{cases}$$

- Вектори  $\vec{a}$  і  $\vec{b}$  взаємно перпендикулярні, причому  $|\vec{a}| = 5$ ,  $|\vec{b}| = 12$ . Визначити  $|\vec{a} + \vec{b}|$  і  $|\vec{a} - \vec{b}|$ .
- Дано трикутник з вершинами в точках  $A(-2;3)$ ,  $B(1;0)$  і  $C(2;1)$ . Знайти довжину його медіани  $CD$ .
- Написати канонічне рівняння гіперболи, якщо відстань між фокусами  $2c=10$  і мала вісь  $2b=8$ .
- Побудувати плоску фігуру, обмежену лініями:  $y=2x$ ,  $y=x^3$ .

#### № 14

- Розв'язати системи рівнянь:

а) 
$$\begin{cases} 5x_1 + 4x_2 = -7, \\ x_1 - 3x_2 = -9. \end{cases}$$
 б) 
$$\begin{cases} 3x_1 + 2x_2 + 2x_3 = 1, \\ 2x_1 - 3x_2 - x_3 = 3, \\ x_1 + x_2 + 3x_3 = -2. \end{cases}$$

- Дано вершини трикутника  $A(3;-1;0)$ ,  $B(2;1;1)$ ,  $C(3;0;-2)$ . Обчислити  $\cos(\overline{BA}, \wedge \overline{BC})$ .
- Побудувати прямі, що задані рівняннями  $x-3y+9=0$  і  $x-2=0$ .
- Знайти вершину параболи  $x^2-2y+3x-1=0$ .
- Побудувати плоску фігуру, обмежену лініями:  
 $y=\sin x$ ,  $x=0$ ,  $x=\pi$ .

#### № 15

- Розв'язати:

а) рівняння 
$$\begin{vmatrix} x & x - \frac{3}{2} \\ 2 & -x \end{vmatrix} = 0;$$

б) систему рівнянь 
$$\begin{cases} 3x_1 - x_2 + x_3 = 7, \\ x_1 + 2x_2 + 3x_3 = 8, \\ x_1 + x_2 + 2x_3 = 6. \end{cases}$$

2. При якому значенні  $m$  вектори  $\vec{a} = (3; m; 4)$  і  $\vec{b} = (m; 4; -7)$  перпендикулярні?
3. Знайти проєкцію точки  $P(-6; 4)$  на пряму  $4x - 5y + 3 = 0$ .
4. Скласти рівняння кола, якщо воно проходить через початок координат і його центр співпадає з точкою  $C(6; -8)$ .
5. Побудувати плоску фігуру, обмежену лініями:  
 $y = -x^2 - 6x + 3$ ,  $x - y + 9 = 0$ .

### № 16

1. Розв'язати системи рівнянь:

$$\text{а) } \begin{cases} 3x_1 - 5x_2 = 13, \\ 2x_1 + 7x_2 = 81; \end{cases} \quad \text{б) } \begin{cases} x_1 + 2x_2 - x_3 = -3, \\ 3x_1 + 4x_2 + x_3 = 1, \\ 5x_1 + x_2 - 3x_3 = -2. \end{cases}$$

2. Знайти  $\text{Pr}_a(\vec{2a} + \vec{3b})$ , якщо  $|\vec{a}| = 1$ ,  $|\vec{b}| = 2$ ,  $(\vec{a}, \vec{b}) = \frac{\pi}{6}$ .
3. Скласти рівняння прямої, що проходить через точки  $A(1; 3)$  і  $B(2; -3)$ .
4. Знайти координати центра і півосі гіперболи  
 $16x^2 - 9y^2 - 64x - 54y - 161 = 0$ .
5. Побудувати плоску фігуру, обмежену лініями:  
 $y = 4x - x^2$ ,  $y = 0$ .

### № 17

1. Розв'язати:

$$\text{а) нерівність } \begin{vmatrix} 2x - 2 & 1 \\ 7x & 2 \end{vmatrix} > 5;$$

$$\text{б) систему рівнянь } \begin{cases} 2x_1 - x_2 + 3x_3 = -7, \\ x_1 + 2x_2 - x_3 = 4, \\ 3x_1 - 3x_2 - 2x_3 = 1. \end{cases}$$

2. Довести, що чотирикутник з вершинами  $A(-3; 5; 6)$ ,  $B(1; -5; 7)$ ,  $C(8; -3; -1)$  і  $D(4; 7; -2)$  – квадрат.
3. Написати рівняння прямої, яка проходить через точку  $K(2; 1)$  перпендикулярно до прямої  $2x + 3y + 4 = 0$ .

4. Написати канонічне рівняння еліпса, якщо його мала піввісь

$$b=8, \text{ а ексцентриситет } \varepsilon = \frac{3}{5}.$$

5. Побудувати плоску фігуру, обмежену лініями:

$$y = x^2 - 6x - 3, x + y + 3 = 0.$$

### № 18

1. Розв'язати системи рівнянь:

$$\text{а) } \begin{cases} 2x_1 - x_2 = 3, \\ 3x_1 + x_2 = 7; \end{cases} \quad \text{б) } \begin{cases} 2x_1 - 3x_2 + 3x_3 = 0, \\ x_1 + x_2 - 2x_3 = -7, \\ x_1 - 2x_2 + 3x_3 = 3. \end{cases}$$

2. Обчислити скалярний добуток векторів  $\vec{a} = (3; 4; -12)$  та

$$\vec{b} = (-1; 2; -1).$$

3. Скласти рівняння прямих, які проходять через точку  $A(5; 7)$  і паралельні до осей координат, побудувати їх.

4. Знайти центр і радіус кола  $x^2 + y^2 + 6x = 0$ .

5. Побудувати плоску фігуру, обмежену лініями:

$$y = x^2 + 4x, y = x + 4.$$

### № 19

1. Розв'язати:

$$\text{а) рівняння } \begin{vmatrix} x & x+1 \\ -4 & x+1 \end{vmatrix} = 0;$$

$$\text{б) систему рівнянь } \begin{cases} 2x_1 + 2x_2 - 3x_3 = 0, \\ x_1 - 2x_2 + x_3 = 6, \\ 2x_1 + x_2 + 2x_3 = 2. \end{cases}$$

2. Знайти роботу, яку виконує сила  $\vec{F} = (3; 4; -2)$  при прямолінійному переміщенні матеріальної точки з положення  $A(2; 0; -3)$  в положення  $B(-1; 4; 2)$ .

3. Довести, що прямі  $3x + 5y - 4 = 0$  і  $6x + 10y - 8 = 0$  співпадають.

4. Знайти вершину параболи  $x^2 + 3x - y = 10$ .

5. Побудувати плоску фігуру, обмежену лініями:

$$y = \ln x, y = 0, x = e.$$

### № 20

1. Розв'язати системи рівнянь:

$$\text{а) } \begin{cases} 3x_1 - 2x_2 = 5, \\ 6x_1 - 4x_2 = 3; \end{cases} \quad \text{б) } \begin{cases} 2x_1 + x_2 + 3x_3 = 9, \\ x_1 - 2x_2 + x_3 = -2, \\ 3x_1 + 2x_2 + 2x_3 = 7. \end{cases}$$

2. Обчислити проекцію вектора  $\vec{c} = 3\vec{a} - \vec{b}$  на вектор  $\vec{b}$ , якщо  $\vec{a} = (1; -1; 2)$  і  $\vec{b} = (2; -2; 1)$ .

3. Встановити, під яким кутом перетинаються прямі  $2x + y - 1 = 0$  і

$$y = \frac{x}{2} + 1.$$

4. Знайти півосі, координати фокусів і ексцентриситет еліпса  $9x^2 + 4y^2 = 36$ .

5. Побудувати плоску фігуру, обмежену лініями:

$$y = x^2 + 2x, \quad y = x + 2.$$

### № 21

1. а) Знайти точку перетину двох прямих:  $2x - y = 0$  і  $3x + 2y - 7 = 0$ .

$$\text{б) Розв'язати систему рівнянь } \begin{cases} x_1 + 2x_2 + x_3 = 1, \\ 2x_1 - 3x_2 - 2x_3 = -3, \\ 2x_1 + x_2 + x_3 = 2. \end{cases}$$

2. Обчислити скалярний добуток векторів  $\vec{a} = (-4; 3; 0)$  і  $\vec{b} = (2; -3; 6)$  та визначити, який кут (гострий, прямий чи тупий) вони утворюють.

3. Знайти координати центра ваги трикутника з вершинами в точках  $A(3; -1)$ ,  $B(-2; 0)$ ,  $C(2; 4)$ .

4. Скласти рівняння кола, якщо його центр знаходиться в точці  $C(2; 1)$ , а пряма  $3x - 4y + 8 = 0$  – його дотична.

5. Побудувати плоску фігуру, обмежену лініями:

$$y = x^2 - 3x + 4, \quad 5x + y - 7 = 0.$$

### № 22

1. Розв'язати:

$$\text{а) нерівність } \begin{vmatrix} x + 2 & 3 \\ -1 & x \end{vmatrix} > 3;$$

$$\text{б) систему рівнянь } \begin{cases} 5x_1 + 8x_2 + x_3 = 2, \\ 3x_1 - 2x_2 + 6x_3 = -7, \\ 2x_1 + x_2 - x_3 = -5. \end{cases}$$

2. Дано вершини чотирикутника  $A(1;2;3)$ ,  $B(7;-3;2)$ ,  $C(3;0;6)$  і  $D(9;2;4)$ . Довести, що його діагоналі взаємно перпендикулярні.
3. Знайти кутовий коефіцієнт прямої, що проходить через точки  $A(-2;3)$  і  $B(1;0)$ .
4. Знайти координати центра і півосі еліпса  $2x^2 + y^2 - 4x + 4y - 10 = 0$ .
5. Побудувати плоску фігуру, обмежену лініями:  
 $y = x^2 - 2x + 2$ ,  $y = 0$ ,  $x = 0$ .

### № 23

1. Розв'язати:

$$\text{а) рівняння } \begin{vmatrix} x+1 & 3 \\ 1 & x-1 \end{vmatrix} = 0;$$

$$\text{б) систему рівнянь } \begin{cases} x_1 - 3x_2 + x_3 = 2, \\ 2x_1 + x_2 + 3x_3 = 3, \\ 2x_1 - x_2 - 2x_3 = 8. \end{cases}$$

2. Дано трикутник з вершинами в точках  $A(2;-1;3)$ ,  $B(1;1;1)$ ,  $C(0;0;5)$ . Знайти його внутрішній кут при вершині  $A$ .
3. Дано вершини трикутника  $A(2;-5)$ ,  $B(1;-2)$  і  $C(4;7)$ . Знайти рівняння його висоти, опущеної з вершини  $B$ .
4. Визначити координати вершини параболи і її параметр, якщо вона задана рівнянням  $x^2 - 6x - 4y + 25 = 0$ .
5. Побудувати плоску фігуру, обмежену лініями:  
 $xy = 3$ ,  $x + y = 4$ .

### № 24

1. Розв'язати системи рівнянь:

$$\text{а) } \begin{cases} x_1 - 3x_2 = 9, \\ 2x_1 + 5x_2 = -4; \end{cases} \quad \text{б) } \begin{cases} x_1 + 2x_2 + x_3 = 4, \\ 3x_1 - 5x_2 + 3x_3 = 1, \\ 2x_1 + 7x_2 - x_3 = 8. \end{cases}$$



2. Дано три вектори  $\bar{a}=(1;-3;4)$  і  $\bar{b}=(3;-4;2)$  і  $\bar{c}=(-1;1;4)$ . Знайти  $Pr_{\bar{b}+\bar{c}}\bar{a}$ .
3. Дві сторони квадрата лежать на прямих  $x-2y+2=0$  і  $x-2y-5=0$ . Обчислити його площу.
4. Знайти координати центра і півосі гіперболи  $16x^2-9y^2-64x-18y+199=0$ .
5. Побудувати плоску фігуру, обмежену лініями:  
 $y=-x^2+3x, y=0$ .

### № 25

1. Розв'язати:

а) нерівність  $\begin{vmatrix} x & -2 \\ 1 & x+2 \end{vmatrix} < 1;$

б) систему рівнянь  $\begin{cases} x_1 + x_2 - 3x_3 = 6, \\ 2x_1 - x_2 + x_3 = 5, \\ 3x_1 + x_2 + 2x_3 = 7. \end{cases}$

2. Дано точки  $A(-1;3;-7)$ ,  $B(2;-1;5)$  і  $C(0;1;-5)$ . Обчислити  $(2\overline{AB} - \overline{CB}) \cdot \overline{BC}$ .
3. Знайти відстань від точки  $A(2;7)$  до прямої  $12x+5y-7=0$ .
4. Скласти рівняння кола, якщо точки  $A(3;2)$  і  $B(-1;6)$  – кінці одного з його діаметрів.
5. Побудувати плоску фігуру, обмежену лініями:  
 $y^2=9x, y=3x$ .

### № 26

1. Розв'язати системи рівнянь:

а)  $\begin{cases} 3x_1 - 2x_2 = 5, \\ -2x_1 + x_2 = -3; \end{cases}$  б)  $\begin{cases} x_1 + 2x_2 - x_3 = 2, \\ 2x_1 - x_2 + x_3 = 3, \\ x_1 + x_2 + x_3 = 6. \end{cases}$

2. Обчислити значення виразу  $(5\bar{a} + 3\bar{b}) \cdot (2\bar{a} - \bar{b})$ , якщо відомо, що  $|\bar{a}|=2$ ,  $|\bar{b}|=3$  і  $\bar{a} \perp \bar{b}$ .
3. Дано трикутник з вершинами в точках  $A(2;-3)$ ,  $B(3;0)$  і  $C(-2;5)$ . Знайти довжину висоти  $AD$ .

- Знайти координати центра і півосі еліпса  $4x^2+3y^2-8x+12y-32=0$ .
- Побудувати плоску фігуру, обмежену лініями:  
 $y=3+2x-x^2$ ,  $y=0$ .

### № 27

- Розв'язати:

а) рівняння  $\begin{vmatrix} x+2 & -1 \\ x-4 & x \end{vmatrix} = 0$ ;

б) систему рівнянь 
$$\begin{cases} x_1 + 2x_2 + x_3 = 8, \\ 3x_1 + 2x_2 + x_3 = 10, \\ 4x_1 + 3x_2 - 2x_3 = 4. \end{cases}$$

- Дано вершини трикутника  $A(3;-1;0)$ ,  $B(2;1;1)$ , і  $C(3;0;-2)$ .  
Знайти проекцію вектора  $2\overline{AB} + \overline{BC}$  на вектор  $\overline{AC}$ .
- Який кут утворює з віссю  $OX$  пряма  $2x+2y-5=0$ ?
- Знайти центр і радіус кола  $x^2+y^2+4x+8y+11=0$ .
- Побудувати плоску фігуру, обмежену лініями:  
 $y=-x^2+4$ ,  $y=x^2-2x$ .

### № 28

- Розв'язати системи рівнянь:

а)  $\begin{cases} 6x_1 - 3x_2 = 6, \\ 2x_1 - x_2 = 3; \end{cases}$  б)  $\begin{cases} 3x_1 + 2x_2 - x_3 = 4, \\ x_1 - 3x_2 + 2x_3 = 5, \\ 2x_1 + x_2 - 3x_3 = 3. \end{cases}$

- Знайти довжину вектора  $\overline{p} = \overline{a} - 2\overline{b}$ , якщо

$$|\overline{a}| = 2, |\overline{b}| = 1, (\overline{a}, \overline{b}) = \frac{\pi}{4}.$$

- Побудувати прямі, що задані рівняннями  $2x-y=0$  і  $3x-2=0$ .
- Написати канонічне рівняння гіперболи, якщо відомо, що відстань між фокусами  $2c=6$ , а ексцентриситет  $\varepsilon = \frac{3}{2}$ .
- Побудувати плоску фігуру, обмежену лініями:  
 $y=x^2-6x$ ,  $x+y=0$ .

### № 29

1. Розв'язати:

а) нерівність  $\begin{vmatrix} x & 3x \\ 4 & 2x \end{vmatrix} < 14;$

б) систему рівнянь 
$$\begin{cases} 5x_1 - 2x_2 + x_3 = -1, \\ 2x_1 + x_2 + 2x_3 = 6, \\ x_1 - 3x_2 - x_3 = -5. \end{cases}$$

2. Дано вершини трикутника  $\overline{A(4;1;0)}$ ,  $\overline{B(2;2;1)}$  і  $\overline{C(6;3;1)}$ .

Знайти проекцію вектора  $\overline{AB}$  на вектор  $\overline{AC}$ .

3. Дано рівняння прямої  $5x+2y-3=0$ . Визначити кутовий коефіцієнт прямої, яка перпендикулярна до даної.

4. Знайти вершину параболу  $x+y^2-2y+1=0$ .

5. Побудувати плоску фігуру, обмежену лініями:

$$xy=4, y=0, x=1, x=4.$$

### № 30

1. а) Знайти точку перетину двох прямих:  $2x-y+7=0$  і  $3x+2y=0$ .

б) Розв'язати систему рівнянь 
$$\begin{cases} x_1 + x_2 - 2x_3 = 1, \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = 0, \\ x_1 - 2x_2 - x_3 = 7. \end{cases}$$

2. Визначити, при яких значеннях  $\alpha$  і  $\beta$  вектори  $\overline{a}=(-2;3;\beta)$  і  $\overline{b}=(\alpha;-6;2)$  - колінеарні.

3. Скласти рівняння прямої, що проходить через точку  $\overline{K(5;-1)}$  перпендикулярно до вектора  $\overline{n}=(3;-2)$ .

4. Визначити півосі, координати фокусів і ексцентриситет еліпса  $3x^2+4y^2-12=0$ .

5. Побудувати плоску фігуру, обмежену лініями:

$$y=x^2+4x, x-y+4=0.$$

## Самостійна робота №2. Вступ до математичного аналізу

### № 1

1. Знайти область визначення функції  $y = \lg \frac{x}{x-3}$ .

2. Знайти границі функцій:

а)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{4x^2 - 3x + 1}{2x^2 + x + 5}$ ; б)  $\lim_{x \rightarrow -2} \frac{x^2 + 5x + 6}{10 + 3x - x^2}$ ;

в)  $\lim_{x \rightarrow -4} \frac{x + 4}{\sqrt{x + 8} - \sqrt{-x}}$ ; г)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \left( \frac{x-1}{x+3} \right)^{3-5x}$ ; д)  $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin 2x}{\sin 3x}$ .

3. Дослідити функцію на неперервність і побудувати її графік:

$$f(x) = \begin{cases} x^2 + 2, & \text{якщо } x < 1, \\ 2x, & \text{якщо } x \geq 1. \end{cases}$$

### № 2

1. Знайти область визначення функції  $y = \frac{\sqrt{1-x^2}}{x}$ .

2. Знайти границі функцій:

а)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{x^3 - 2x + 1}{4x^2 + 6x + 7}$ ; б)  $\lim_{x \rightarrow 2} \frac{4x^2 - 7x - 2}{7x - 3x^2 - 2}$ ;

в)  $\lim_{x \rightarrow -1} \frac{x + 1}{\sqrt{x + 4} - \sqrt{2 - x}}$ ; г)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \left( \frac{x + 5}{x - 2} \right)^{3x-4}$ ; д)  $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\arctg 5x}{x}$ .

3. Дослідити функцію на неперервність і побудувати її графік:

$$f(x) = \begin{cases} (x+1)^2, & \text{якщо } x \leq 2, \\ -x + 4, & \text{якщо } x > 2. \end{cases}$$

### № 3

1. Знайти область визначення функції  $f(x) = \frac{2}{x^2 - 1}$ .

2. Знайти границі функцій:

а)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{x + 2}{3x^2 + x - 1}$ ; б)  $\lim_{x \rightarrow -2} \frac{4 - 4x - 3x^2}{4x^2 + 11x + 6}$ ;

в)  $\lim_{x \rightarrow -2} \frac{\sqrt{x+5} - \sqrt{1-x}}{x+2}$ ; г)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \left( \frac{4x+3}{4x-4} \right)^{1-2x}$ ; д)  $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\operatorname{tg} 3x}{5x}$ .

3. Дослідити функцію на неперервність і побудувати її графік:

$$f(x) = \begin{cases} x+2, & \text{якщо } x \leq 1, \\ x^2+1, & \text{якщо } x > 1. \end{cases}$$

#### № 4

1. Знайти область визначення функції  $y = \arcsin \frac{x-1}{2}$ .

2. Знайти границі функцій:

а)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{3x^2 + 16x + 5}{15 - 7x - 2x^2}$ ; б)  $\lim_{x \rightarrow 3} \frac{2x^2 - 3x - 9}{5x - x^2 - 6}$ ;

в)  $\lim_{x \rightarrow 1} \frac{\sqrt{x+2} - \sqrt{4-x}}{x-1}$ ; г)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \left( \frac{4x+4}{4x+3} \right)^{4x-5}$ ; д)  $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin^2 4x}{x^2}$ .

3. Дослідити функцію на неперервність і побудувати її графік:

$$f(x) = \begin{cases} x, & \text{якщо } x \leq 0, \\ (x-1)^2, & \text{якщо } x > 0. \end{cases}$$

#### № 5

1. Знайти область визначення функції  $f(x) = \sqrt[3]{x^2 + 4}$ .

2. Знайти границі функцій:

а)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{4x-1}{x^2-3x+2}$ ; б)  $\lim_{x \rightarrow 3} \frac{x^2+7x+12}{9-3x-2x^2}$ ;

в)  $\lim_{x \rightarrow -2} \frac{\sqrt{x+8} - \sqrt{4-x}}{x+2}$ ; г)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \left( \frac{4x+2}{4x-5} \right)^{4-x}$ ; д)

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{1 - \cos 2x}{2x^2}.$$

3. Дослідити функцію на неперервність і побудувати її графік:

$$f(x) = \begin{cases} x^2, & \text{якщо } x \leq 2, \\ x+1, & \text{якщо } x > 2. \end{cases}$$

**№ 6**

- Знайти область визначення функції  $f(x) = \frac{x+7}{2x^2-x-6}$ .
- Знайти границі функцій:
  - $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{7x^2-3x+1}{2x^2+x-3}$ ; б)  $\lim_{x \rightarrow 2} \frac{x^2-5x+6}{x^2-12x+20}$ ;
  - $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sqrt{9+x}-3}{x^2+x}$ ; г)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \left(\frac{5x+5}{5x-3}\right)^{x+3}$ ; д)  $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\arcsin 2x}{4x}$ .
- Дослідити функцію на неперервність і побудувати її графік:
 
$$f(x) = \begin{cases} 2x, & \text{якщо } x \leq 3, \\ x+3, & \text{якщо } x > 3. \end{cases}$$

**№ 7**

- Знайти область визначення функції  $f(x) = \lg(1-x^2)$ .
- Знайти границі функцій:
  - $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{3x^3-5x^2+2}{2x^3+5x^2-x}$ ; б)  $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{x^3-5x^2+2x}{x^2+x}$ ;
  - $\lim_{x \rightarrow 1} \frac{x-1}{\sqrt{x+1}-\sqrt{3-x}}$ ; г)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \left(\frac{5x-1}{5x-5}\right)^{2-x}$ ; д)  $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{1-\cos 2x}{1-\cos 5x}$ .
- Дослідити функцію на неперервність і побудувати її графік:
 
$$f(x) = \begin{cases} x^3, & \text{якщо } x \leq 2, \\ x+4, & \text{якщо } x > 2. \end{cases}$$

**№ 8**

- Знайти область визначення функції  $f(x) = \sqrt{x^2-2x-8}$ .
- Знайти границі функцій:
  - $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{3x^4+2x-5}{2x^2+x+7}$ ; б)  $\lim_{x \rightarrow 2} \frac{2x^2-7x+4}{x^2-5x+6}$ ;

в)  $\lim_{x \rightarrow 1} \frac{\sqrt{x+2} - \sqrt{4-x}}{x-1}$ ; г)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \left( \frac{5x+4}{5x+3} \right)^{2x-3}$ ; д)  $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\operatorname{tg}^2 5x}{x^2}$ .

3. Дослідити функцію на неперервність і побудувати її графік:

$$f(x) = \begin{cases} x^2 - 1, & \text{якщо } x \leq 2, \\ 2x, & \text{якщо } x > 2. \end{cases}$$

### № 9

1. Знайти область визначення функції  $f(x) = \frac{1}{x^2 - 9}$ .

2. Знайти границі функцій:

а)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{2x^3 + 7x - 1}{3x^4 + 2x + 5}$ ; б)  $\lim_{x \rightarrow -1} \frac{x^2 - 4x - 5}{x^2 - 2x - 3}$ ;

в)  $\lim_{x \rightarrow -4} \frac{\sqrt{x+5} - \sqrt{-3-x}}{4+x}$ ; г)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \left( \frac{5x-2}{5x-1} \right)^{4-3x}$ ; д)  $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\arctg 7x}{5x}$ .

3. Дослідити функцію на неперервність і побудувати її графік:

$$f(x) = \begin{cases} x + 3, & \text{якщо } x \leq 0, \\ -x^2 + 4, & \text{якщо } x > 0. \end{cases}$$

### № 10

1. Знайти область визначення функції  $f(x) = \arccos \frac{x-2}{3}$ .

2. Знайти границі функцій:

а)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{2x^2 + 4x - 1}{5x^2 - x - 2}$ ; б)  $\lim_{x \rightarrow 3} \frac{2x^2 - 9x + 9}{x^2 - 5x + 6}$ ;

в)  $\lim_{x \rightarrow 7} \frac{\sqrt{2+x} - 3}{x-7}$ ; г)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \left( \frac{5x+3}{5x+5} \right)^{5+x}$ ; д)  $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin 5x}{\sin 3x}$ .

3. Дослідити функцію на неперервність і побудувати її графік:

$$f(x) = \begin{cases} x - 3, & \text{якщо } x < 0, \\ x + 1, & \text{якщо } x \geq 0. \end{cases}$$

### № 11

1. Знайти область визначення функції  $f(x) = \sqrt{x+5}$ .

2. Знайти границі функцій:

а)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{3x^6 - 5x^2 + 2}{2x^3 + 4x - 5}$ ; б)  $\lim_{x \rightarrow 3} \frac{x^2 - x - 6}{x^2 - 6x + 9}$ ;

в)  $\lim_{x \rightarrow 4} \frac{x - 4}{\sqrt{x - 2} - \sqrt{6 - x}}$ ; г)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \left( \frac{3x + 1}{3x + 4} \right)^{4x - 1}$ ; д)  $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{1 - \cos x}{x^2}$ .

3. Дослідити функцію на неперервність і побудувати її графік:

$$f(x) = \begin{cases} x^3, & \text{якщо } x < -1, \\ x, & \text{якщо } x \geq -1. \end{cases}$$

### № 12

1. Знайти область визначення функції  $f(x) = \frac{2x}{x^2 - 5x + 6}$ .

2. Знайти границі функцій:

а)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{7x^2 + 26x - 8}{2x^2 - x + 1}$ ; б)  $\lim_{x \rightarrow 1} \frac{3x^2 + 5x - 8}{2x^2 + 3x - 5}$ ;

в)  $\lim_{x \rightarrow 3} \frac{\sqrt{x - 2} - \sqrt{4 - x}}{x - 3}$ ; г)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \left( \frac{2x - 5}{2x + 3} \right)^{4x - 2}$ ; д)  $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin 3x}{\operatorname{tg} 2x}$ .

3. Дослідити функцію на неперервність і побудувати її графік:

$$f(x) = \begin{cases} x - 1, & \text{якщо } x < 1, \\ x^2 + 2, & \text{якщо } x \geq 1. \end{cases}$$

### № 13

1. Знайти область визначення функції

$$f(x) = \frac{x}{3x + 2} + \operatorname{arctg} \frac{4x - 1}{5}.$$

2. Знайти границі функцій:

а)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{10x - 7}{3x^2 + 2x + 1}$ ; б)  $\lim_{x \rightarrow -1} \frac{6x^2 + 13x + 7}{3x^2 + 8x + 5}$ ;

в)  $\lim_{x \rightarrow 6} \frac{\sqrt{x - 3} - \sqrt{9 - x}}{x - 6}$ ; г)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \left( \frac{3x - 1}{3x + 6} \right)^{2x + 3}$ ; д)  $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\operatorname{arctg} 6x^2}{4x^2}$ .

3. Дослідити функцію на неперервність і побудувати її графік:



$$f(x) = \begin{cases} (x-2)^2, & \text{якщо } x < 3, \\ -x+6, & \text{якщо } x \geq 3. \end{cases}$$

**№ 14**

1. Знайти область визначення функції  $f(x) = \frac{1}{\sqrt{x^2 - 16}}$ .

2. Знайти границі функцій:

а)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{2x^3 + 7x + 2}{3x^3 - x - 4}$ ; б)  $\lim_{x \rightarrow 2} \frac{3x^2 - 5x - 2}{2x^2 - x - 6}$ ;

в)  $\lim_{x \rightarrow 4} \frac{x-4}{\sqrt{x+1} - \sqrt{9-x}}$ ; г)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \left( \frac{5x-3}{5x+4} \right)^{x+4}$ ; д)  $\lim_{x \rightarrow 0} 4x \cdot \operatorname{ctg} 5x$ .

3. Дослідити функцію на неперервність і побудувати її графік:

$$f(x) = \begin{cases} 3x+4, & \text{якщо } x \leq -1, \\ x^2-2, & \text{якщо } x > -1. \end{cases}$$

**№ 15**

1. Знайти область визначення функції  $f(x) = \sqrt{-x} + 2^{x^2}$ .

2. Знайти границі функцій:

а)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{x^2 - 7x - 3}{4x + 1}$ ; б)  $\lim_{x \rightarrow -1} \frac{4x^2 + 7x + 3}{2x^2 + x - 1}$ ;

в)  $\lim_{x \rightarrow 2} \frac{\sqrt{x+5} - \sqrt{9-x}}{x-2}$ ; г)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \left( \frac{4x+1}{4x-3} \right)^{5x-1}$ ; д)  $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin 5x}{x}$ .

3. Дослідити функцію на неперервність і побудувати її графік:

$$f(x) = \begin{cases} -x+2, & \text{якщо } x \leq -2, \\ x^3, & \text{якщо } x > -2. \end{cases}$$

**№ 16**

1. Знайти область визначення функції  $f(x) = \sqrt{2+x-x^2}$ .

2. Знайти границі функцій:

а)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{5x^2 - 3x + 1}{3x^2 + x - 5}$ ; б)  $\lim_{x \rightarrow -2} \frac{x^2 - x - 6}{4 - x^2}$ ;

в)  $\lim_{x \rightarrow 1} \frac{x - \sqrt{x}}{\sqrt{x} - 1}$ ; г)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \left( \frac{3x - 2}{3x + 5} \right)^{x-3}$ ; д)  $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{1 - \cos 4x}{x^2}$ .

3. Дослідити функцію на неперервність і побудувати її графік:

$$f(x) = \begin{cases} 2^x, & \text{якщо } x \leq 2, \\ x + 3, & \text{якщо } x > 2. \end{cases}$$

**№ 17**

1. Знайти область визначення функції  $f(x) = \frac{3x + 1}{\sqrt{x^2 + x + 1}}$ .

2. Знайти границі функцій:

а)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{8x^4 + 7x^3 - 3}{3x^2 - 5x + 1}$ ; б)  $\lim_{x \rightarrow 3} \frac{2x^2 - 9x + 9}{x^2 - 5x + 6}$ ;

в)  $\lim_{x \rightarrow \infty} (x - \sqrt{x^2 - 1})$ ; г)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \left( \frac{3x + 2}{3x - 4} \right)^{2-x}$ ; д)  $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\arcsin 8x}{4x}$ .

3. Дослідити функцію на неперервність і побудувати її графік:

$$f(x) = \begin{cases} x^2, & \text{якщо } x \leq 2, \\ 2x, & \text{якщо } x > 2. \end{cases}$$

**№ 18**

1. Знайти область визначення функції  $f(x) = \log_2(9 - x^2)$ .

2. Знайти границі функцій:

а)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{x^2 - x + 1}{4 + 3x - x^2}$ ; б)  $\lim_{x \rightarrow 4} \frac{5x - x^2 - 4}{x^2 - 2x - 8}$ ;

в)  $\lim_{x \rightarrow -1} \frac{\sqrt{x + 6} - \sqrt{4 - x}}{x + 1}$ ; г)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \left( \frac{4x + 3}{4x - 1} \right)^{2x-3}$ ; д)  $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\operatorname{tg} 5x}{x}$ .

3. Дослідити функцію на неперервність і побудувати її графік:

$$f(x) = \begin{cases} -x, & \text{якщо } x < 1, \\ x^2 + 1, & \text{якщо } x \geq 1. \end{cases}$$

**№ 19**

1. Знайти область визначення функції  $f(x) = \sqrt{x - x^3}$ .

2. Знайти границі функцій:

а)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{8x^5 - 3x^2 + 4}{3x^4 - 7x - 1}$ ; б)  $\lim_{x \rightarrow -2} \frac{x^2 - 2x - 8}{2x^2 + 5x + 2}$ ;

в)  $\lim_{x \rightarrow \infty} (x - \sqrt{x^2 - x + 1})$ ; г)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \left( \frac{2x + 5}{2x - 1} \right)^{3-x}$ ; д)  $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{1 - \cos 6x}{x^2}$ .

3. Дослідити функцію на неперервність і побудувати її графік:

$$f(x) = \begin{cases} x + 1, & \text{якщо } x < 0, \\ x^2 - 1, & \text{якщо } x \geq 0. \end{cases}$$

### № 20

1. Знайти область визначення функції  $f(x) = \frac{2x - 3}{x^2 - 3x + 2}$ .

2. Знайти границі функцій:

а)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{12 - 5x - 2x^2}{3x^2 + 8x - 16}$ ; б)  $\lim_{x \rightarrow -5} \frac{10 - 3x^2 - 13x}{4x^2 + 17x - 15}$ ;

в)  $\lim_{x \rightarrow 1} \frac{\sqrt{x + 3} - \sqrt{5 - x}}{x - 1}$ ; г)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \left( \frac{5x - 1}{5x + 4} \right)^{2x+1}$ ;

д)  $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\cos x - \cos^3 x}{x^2}$ .

3. Дослідити функцію на неперервність і побудувати її графік:

$$f(x) = \begin{cases} x - 1, & \text{якщо } x \leq 0, \\ x^2, & \text{якщо } x > 0. \end{cases}$$

### № 21

1. Знайти область визначення функції  $f(x) = \frac{1}{\lg(1 - x)}$ .

2. Знайти границі функцій:

а)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{5x^2 + 3x + 5}{4x^3 - 2x^2 + 1}$ ; б)  $\lim_{x \rightarrow 4} \frac{4x^2 - 15x - 4}{3x^2 - 8x - 16}$ ;

в)  $\lim_{x \rightarrow 1} \frac{x - 1}{\sqrt{x + 6} - \sqrt{8 - x}}$ ; г)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \left( \frac{3x - 1}{3x - 4} \right)^{2x}$ ; д)  $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\arctg 3x}{4x}$ .

3. Дослідити функцію на неперервність і побудувати її графік:

$$f(x) = \begin{cases} x^2, & \text{якщо } x \leq 1, \\ 4 - x, & \text{якщо } x > 1. \end{cases}$$

**№ 22**

1. Знайти область визначення функції  $f(x) = \sqrt{x^2 - 2}$ .  
2. Знайти границі функцій:

а)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{(x+1)^2}{x^2+1}$ ; б)  $\lim_{x \rightarrow -1} \frac{x^2-1}{x^2+3x+2}$ ;

в)  $\lim_{x \rightarrow \infty} (\sqrt{x+a} - \sqrt{x})$ ; г)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \left( \frac{3x+4}{3x-3} \right)^{5x}$ ; д)  $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\operatorname{tg} 2x}{\sin 3x}$ .

3. Дослідити функцію на неперервність і побудувати її графік:

$$f(x) = \begin{cases} x^2 + 1, & \text{якщо } x \leq 2, \\ 4 - 2x, & \text{якщо } x > 2. \end{cases}$$

**№ 23**

1. Знайти область визначення функції  $f(x) = \arccos \frac{x-1}{2}$ .

2. Знайти границі функцій:

а)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{x^3 - 3x^2 + 2x}{x^2 + 7x + 1}$ ; б)  $\lim_{x \rightarrow -1} \frac{x^3 + 1}{x^2 + 1}$ ;

в)  $\lim_{x \rightarrow 3} \frac{x-3}{\sqrt{x-1} - \sqrt{5-x}}$ ; г)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \left( \frac{3x-3}{3x+2} \right)^{3x-1}$ ; д)  $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\operatorname{tg}^2 x}{7x^2}$ .

3. Дослідити функцію на неперервність і побудувати її графік:

$$f(x) = \begin{cases} 4 - x^2, & \text{якщо } x < 2, \\ x - 2, & \text{якщо } x \geq 2. \end{cases}$$

**№ 24**

1. Знайти область визначення функції  $f(x) = \sqrt{25 - x^2}$ .  
2. Знайти границі функцій:

а)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{2x^2 - 11x - 6}{27x - 4x^2 - 18}$ ; б)  $\lim_{x \rightarrow 4} \frac{4x^2 - 15x - 4}{3x^2 - 8x - 16}$ ;

в)  $\lim_{x \rightarrow -1} \frac{x+1}{\sqrt{x+4} - \sqrt{2-x}}$ ; г)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \left( \frac{3x-1}{3x+5} \right)^{x+5}$ ; д)  $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin 2x}{\sin 7x}$ .

3. Дослідити функцію на неперервність і побудувати її графік:

$$f(x) = \begin{cases} 2 - x, & \text{якщо } x \leq 2, \\ x - 5, & \text{якщо } x > 2. \end{cases}$$

**№ 25**

1. Знайти область визначення функції  $f(x) = \frac{2x}{x^2 + 7x + 12}$ .

2. Знайти границі функцій:

а)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{3x^4 + x^2 - 6}{2x^2 + 3x + 1}$ ; б)  $\lim_{x \rightarrow 1} \frac{4x^2 + x - 5}{x^2 - 2x + 1}$ ;

в)  $\lim_{x \rightarrow 5} \frac{\sqrt{x-2} - \sqrt{8-x}}{x-5}$ ; г)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \left( \frac{3x-3}{3x+1} \right)^{3-x}$ ; д)  $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{1 - \cos 3x}{x^2}$ .

3. Дослідити функцію на неперервність і побудувати її графік:

$$f(x) = \begin{cases} x - 1, & \text{якщо } x \leq 0, \\ 2 - x^2, & \text{якщо } x > 0. \end{cases}$$

**№ 26**

1. Знайти область визначення функції  $f(x) = \sqrt{4x - x^2}$ .

2. Знайти границі функцій:

а)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{5x^3 - 2x^2 + 4}{2x^3 - 3}$ ; б)  $\lim_{x \rightarrow 3} \frac{2x^2 - 3x - 9}{5x - x^2 - 6}$ ;

в)  $\lim_{x \rightarrow -2} \frac{x+2}{\sqrt{x+6} - \sqrt{2-x}}$ ; г)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \left( \frac{2x+3}{2x+1} \right)^{3x+4}$ ; д)  $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{4x}{\arctg x}$ .

3. Дослідити функцію на неперервність і побудувати її графік:

$$f(x) = \begin{cases} x^2, & \text{якщо } x \leq 1, \\ 1 - x, & \text{якщо } x > 1. \end{cases}$$

**№ 27**

1. Знайти область визначення функції  $f(x) = \ln(x-6) + \sqrt{x-3}$ .
2. Знайти границі функцій:

а)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{5x+2}{3x^2-2x+1}$ ; б)  $\lim_{x \rightarrow -1} \frac{x^2-x-2}{x^3+1}$ ;

в)  $\lim_{x \rightarrow -2} \frac{\sqrt{x+5} - \sqrt{1-x}}{x+2}$ ; г)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \left( \frac{2x+2}{2x-1} \right)^{3x-3}$ ; д)  $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\operatorname{tg} 6x}{2x}$ .

3. Дослідити функцію на неперервність і побудувати її графік:

$$f(x) = \begin{cases} 1-x^2, & \text{якщо } x \leq 0, \\ x-1, & \text{якщо } x > 0. \end{cases}$$

**№ 28**

1. Знайти область визначення функції  $f(x) = \arcsin \frac{x-4}{3}$ .

2. Знайти границі функцій:

а)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{x^2-x+4}{6x^2-7x+1}$ ; б)  $\lim_{x \rightarrow 4} \frac{x^2-16}{x^2+x-20}$ ;

в)  $\lim_{x \rightarrow 1} \frac{x-1}{\sqrt{x+1} - \sqrt{3-x}}$ ; г)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \left( \frac{2x-1}{2x-4} \right)^{5-2x}$ ; д)  $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\arcsin 4x}{7x}$ .

3. Дослідити функцію на неперервність і побудувати її графік:

$$f(x) = \begin{cases} x^2-1, & \text{якщо } x \leq 1, \\ x+2, & \text{якщо } x > 1. \end{cases}$$

**№ 29**

1. Знайти область визначення функції  $f(x) = \sqrt{x^2-4} + \sqrt[3]{x-1}$ .

2. Знайти границі функцій:

а)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{x^3+2x-1}{4x^2+2x-5}$ ; б)  $\lim_{x \rightarrow 2} \frac{2x^2-9x+10}{x^2+3x-10}$ ;

в)  $\lim_{x \rightarrow 7} \frac{2-\sqrt{x-3}}{x^2-49}$ ; г)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \left( \frac{2x+2}{2x-3} \right)^{5x+1}$ ; д)  $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{1-\cos 7x}{3x^2}$ .

3. Дослідити функцію на неперервність і побудувати її графік:

$$f(x) = \begin{cases} x^2 + 2, & \text{якщо } x \leq 2, \\ 4 - x, & \text{якщо } x > 2. \end{cases}$$

### № 30

1. Знайти область визначення функції  $f(x) = \frac{1}{\sqrt{x^2 - 1}}$ .

2. Знайти границі функцій:

а)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{x^3 - 7x - 1}{3x^4 + 2x + 4}$ ; б)  $\lim_{x \rightarrow 3} \frac{3x^2 - 7x - 6}{2x^2 - 7x + 3}$ ;

в)  $\lim_{x \rightarrow 4} \frac{x - 4}{\sqrt{x - 2} - \sqrt{6 - x}}$ ; г)  $\lim_{x \rightarrow \infty} \left( \frac{4x + 4}{4x + 3} \right)^{4x - 5}$ ; д)  $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin 2x}{\operatorname{tg} 5x}$ .

3. Дослідити функцію на неперервність і побудувати її графік:

$$f(x) = \begin{cases} 2 - x^2, & \text{якщо } x \leq 2, \\ x - 1, & \text{якщо } x > 2. \end{cases}$$

## Самостійна робота № 3. Похідна та її застосування

### №1

1. Користуючись правилами диференціювання, знайти похідні  $y'_x$  заданих функцій:

а)  $y = 5^{\operatorname{tg}^2 x} - x \cos(x + 1)$ ; б)  $y = \ln \sqrt{\frac{1 - x^2}{x^3 - 3x}}$ ; в)  $y = x^x$ ;

г)  $\begin{cases} x = \ln(1 + t^2), \\ y = t - \operatorname{arctg} t; \end{cases}$  д)  $y = \cos^2 x$ ,  $y''_x - ?$

2. Обчислити наближено  $\operatorname{arctg} 1,05$ .

3. Із дроту довжиною  $l$  виготовляють модель прямокутного паралелепіпеда з квадратною основою. Якою повинна бути довжина сторони основи, щоб повна поверхня паралелепіпеда була найбільшою?

### № 2

1. Користуючись правилами диференціювання, знайти похідні

$y'_x$  заданих функцій:

а)  $y = 7^{\arctg 2x} + x \ln 2x$ ; б)  $y = \ln \sqrt[4]{\frac{3x-1}{x^2-6x+2}}$ ; в)  $y = x^{\cos x}$ ;

г)  $\begin{cases} x = e^t \cos t, \\ y = e^t \sin t; \end{cases}$  д)  $y = xe^{-x}$ ,  $y''_x - ?$

2. Знайти рівняння дотичної і нормалі до кривої  $y = x^2 - 7x + 3$  в точці з абсцисою  $x_0 = 1$ .

3. Знайти найбільший об'єм конуса при заданій довжині  $l$  його твірної.

### № 3

1. Користуючись правилами диференціювання, знайти похідні  $y'_x$  заданих функцій:

а)  $y = \arcsin \sqrt{1-4x^2} + x^2 \sin x$ ; б)  $y = \ln \sqrt{\frac{3-x^2}{x^3-9x}}$ ;

в)  $y = x^{\ln x}$ ; г)  $\begin{cases} x = a(t - \sin t), \\ y = a(1 - \cos t); \end{cases}$  д)  $y = \arctg e^x$ ,  $y''_x - ?$

2. Обчислити наближено  $\operatorname{tg} 46^\circ$ .

3. Периметр осового перерізу циліндра дорівнює  $6a$ . Знайти найбільший об'єм такого циліндра.

### № 4

1. Користуючись правилами диференціювання, знайти похідні  $y'_x$  заданих функцій:

а)  $y = 2 \arcsin \sqrt{1-x^2} + x^6 \operatorname{ctg} 3x$ ; б)

$y = (5^{\cos 2x} - \cos^2 3x)^3$ ;

в)  $y = (x^2)^{\operatorname{tg} x}$ ; г)  $y = \begin{cases} x = (2t+3) \cos t, \\ y = 3t^2; \end{cases}$  д)

$y = \arctg \frac{x}{a}$ ,  $y''_x - ?$



2. Знайти рівняння дотичної і нормалі до кривої  $y = \sqrt{x-4}$  в точці з абсцисою  $x_0 = 8$ .

3. Знайти прямокутний трикутник найбільшої площі, гіпотенуза якого дорівнює  $c$ .

### № 5

1. Користуючись правилами диференціювання, знайти похідні  $y'_x$  заданих функцій:

а)  $y = \ln \arccos \sqrt{1-4x^2} + 2^{\cos \frac{x}{3}}$ ; б)  $y = \ln \sqrt[3]{\frac{8-3x^2}{x^3-8x}}$ ;

в)  $y = (\sin x)^x$ ; г)  $\begin{cases} x = \frac{1}{2}(e^t + e^{-t}), \\ y = \frac{1}{2}(e^t - e^{-t}); \end{cases}$  д)

$y = \sqrt{1+x^2}$ ,  $y''_x$  -?

2. Обчислити наближено  $e^{0,2-(0,2)^3}$ .

3. Розкласти число 20 на два доданки так, щоб їх добуток був найбільшим.

### № 6

1. Користуючись правилами диференціювання, знайти похідні  $y'_x$  заданих функцій:

а)  $y = \ln \arccos e^x + x \cos 2x$ ; б)  $y = (4^{\lg 3x} + x^2)^3$ ; в)  $y = x^{\operatorname{ctg} x}$ ;

в)  $y = x^{\operatorname{ctg} x}$ ; г)  $\begin{cases} x = a \cos^3 t, \\ y = a \sin^3 t; \end{cases}$  д)

$y = x \ln x$ ,  $y''_x$  -?

2. Знайти рівняння дотичної і нормалі до кривої  $y = \frac{\ln x}{x}$  в точці абсцисою  $x_0 = 1$ .

3. Сіткою довжиною 120м потрібно огородити прилеглу до будинку прямокутну ділянку найбільшої площі. Визначити розміри цієї ділянки.

### № 7

1. Користуючись правилами диференціювання, знайти похідні  $y'_x$  заданих функцій:

а)  $y = \sqrt{1 - 4x^2} + \arccos 2x$ ; б)  $y = \ln \sqrt[5]{\frac{1-5x}{1+5x}}$ ;

в)  $y = (x + \ln x)^{\frac{1}{x}}$ ; г)  $\begin{cases} x = 2 \cos^2 t, \\ y = 3 \sin^2 t; \end{cases}$  д)  $y = \ln \operatorname{ctg} 2x, y''_x - ?$

2. Обчислити наближено  $e^{2.01}$ .

3. Довести, що з усіх прямокутників, вписаних у заданий круг, найбільшу площу має квадрат.

### № 8

1. Користуючись правилами диференціювання, знайти похідні  $y'_x$  заданих функцій:

а)  $y = \operatorname{arctg} \sqrt{x-1} - x \sin 4x$ ; б)  
 $y = (4^{\cos 2x} + \ln(1+x^2))^6$ ;

в)  $y = (x^2 - x + 1)^{x^2}$ ; г)  $\begin{cases} x = \ln \operatorname{tg} t, \\ y = \frac{1}{\sin^2 t}; \end{cases}$  д)  $y = \sin^2 x, y''_x - ?$

2. Знайти рівняння дотичної і нормалі до кривої  $y = x^2 - 16x + 7$  в точці з абсцисою  $x_0 = 1$ .

3. Показати, що з усіх рівнобедрених трикутників, вписаних у заданий круг, найбільший периметр має рівносторонній трикутник.

### № 9

1. Користуючись правилами диференціювання, знайти похідні  $y'_x$  заданих функцій:

а)  $y = 3^{\sqrt{x}} + e^x \operatorname{tg} 2x$ ; б)  $y = \ln \sqrt[3]{\frac{1-x^2}{2x^2+1}}$ ;

$$\text{в) } y = (\arccos x)^{x^2}; \text{ г) } \begin{cases} x = t - \sin t, \\ y = 1 - \cos t; \end{cases} \text{ д) } y = e^{x^2}, y_x'' - ?$$

2. Обчислити наближено  $\sin 32^\circ$ .

3. Внутрішня поверхня баку із квадратною основою без кришки рівна  $108 \text{ дм}^3$ . Якими повинні бути розміри баку, щоб його об'єм був найбільшим?

### № 10

1. Користуючись правилами диференціювання, знайти похідні  $y'_x$  заданих функцій:

$$\text{а) } y = 2^{\arctg \sqrt{x-1}} + x \sin^3 x; \text{ б) } y = \ln \sqrt[5]{\frac{2x^3 + 1}{2x^3 - 1}};$$

$$\text{в) } y = (\arcsin x)^{\ln x}; \text{ г) } \begin{cases} x = te^t, \\ y = \frac{t}{e^t}; \end{cases} \text{ д) } y = x \arctg x, y_x'' - ?$$

2. Знайти рівняння дотичної і нормалі до кривої  $y = x^3 - 5x^2 + 7x - 2$  в точці  $M_0(1;1)$ .

3. Показати, що з усіх трикутників із заданою основою та заданим кутом при протилежній вершині, найбільший периметр буде мати рівнобедрений трикутник.

### № 11

1. Користуючись правилами диференціювання, знайти похідні  $y'_x$  заданих функцій:

$$\text{а) } y = \ln(e^{2x} + 1) - 2 \arctg e^x; \text{ б) } y = (6^{\cos^2 x} + \sin^2 x)^5;$$

$$\text{в) } y = x^{\cos x}; \text{ г) } \begin{cases} x = \arccos t, \\ y = \sqrt{1-t^2}; \end{cases} \text{ д) } y = x + \frac{\ln x}{x}, y_x'' - ?$$

2. Обчислити наближено  $e^{(1,2)^2 - 1,2}$ .

3. Із листа, що має форму круга радіуса  $R$ , вирізати такий сектор, при згортанні якого можна отримати лійку найбільшої місткості.

### № 12

1. Користуючись правилами диференціювання, знайти похідні  $y'_x$

заданих функцій:

$$\text{а) } y = \arcsin \frac{1}{x} + \frac{\sqrt{x^2 - 1}}{x}; \quad \text{б) } y = (2^{\cos^3 x} + \operatorname{tg} 2x)^6;$$

$$\text{в) } y = (\operatorname{arctg} x)^x; \quad \text{г) } \begin{cases} x = \sin 2t, \\ y = \cos^2 t; \end{cases} \quad \text{д) } y = \frac{4}{x+3}, \quad y_x'' - ?$$

2. Знайти рівняння дотичної і нормалі до кривої  $y = \frac{3x-4}{2x-3}$  в

точці з абсцисою  $x_0 = 2$ .

3. Консервна банка об'ємом  $V$  повинна мати циліндричну форму із дном та кришкою. Яким повинно бути відношення діаметра циліндра до висоти, щоб на виготовлення банки пішло найменше матеріалу?

### № 13

1. Користуючись правилами диференціювання, знайти похідні  $y'_x$  заданих функцій:

$$\text{а) } y = \ln \operatorname{arctg} \sqrt{x} + 2^{\sin x^3}; \quad \text{б) } y = \ln \sqrt[6]{\frac{x^6 - 1}{6x + 5}};$$

$$\text{в) } y = (\operatorname{tg} x)^x; \quad \text{г) } \begin{cases} x = 2 \cos^3 t, \\ y = 3 \sin^3 t; \end{cases} \quad \text{д) } y = x - \ln(x+1), \quad y_x'' - ?$$

2. Обчислити наближено  $\operatorname{arctg} 0,95$ .

3. Визначити розміри відкритого басейну з квадратним дном і об'ємом  $32\text{м}^3$  так, щоб на опорядження його стін і дна пішла найменша кількість матеріалу.

### № 14

1. Користуючись правилами диференціювання, знайти похідні  $y'_x$  заданих функцій:

$$\text{а) } y = \ln \operatorname{tg}(3x-2)^2 + 5^{\arccos 3x}; \quad \text{б) } y = \ln \sqrt{\frac{3x^2 + 1}{3 - x^2}};$$

в)  $y = (\sqrt{x})^x$ ;

г)  $\begin{cases} x = \ln^2 t, \\ y = t + \ln t; \end{cases}$  д)

$y = \sqrt{1-x^2} \cdot \arcsin x, y_x'' - ?$

2. Знайти рівняння дотичної і нормалі до кривої  $y = 2\sqrt{2} \sin x$  в точці  $M_0(\frac{\pi}{4}; 2)$ .

3. Якими повинні бути сторони прямокутного трикутника заданої площі  $S$ , щоб його периметр був найменшим?

### № 15

1. Користуючись правилами диференціювання, знайти похідні  $y'_x$  заданих функцій:

а)  $y = \ln \cos 3^{x^2} + x\sqrt{1-x^2}$ ; б)  $y = (2^{\text{ctg } 3x} + \sin^3 7x)^5$ ;

в)  $y = x^{\cos x}$ ; г)  $\begin{cases} x = 2(\sin t - t \cos t), \\ y = 2(\cos t + t \sin t); \end{cases}$  д)  $y = xe^{x^2}; y_x'' - ?$

2. Обчислити наближено  $\sqrt[3]{25}$ .

3. Яке повинно бути співвідношення між радіусом основи  $R$  і висотою  $H$  закритої циліндричної цистерни місткості  $V$ , щоб на її виготовлення затратити найменшу кількість матеріалу?

### № 16

1. Користуючись правилами диференціювання, знайти похідні  $y'_x$  заданих функцій:

а)  $y = \ln \arccos \sqrt{5-x^2} + 3^{\arcsin x}$ ; б)  $y = \ln \sqrt{\frac{3x^2+4}{3x^2-4}}$ ;

в)  $y = (2x+3)^{\cos x}$ ; г)

$\begin{cases} x = a \cos 2t, \\ y = b \sin 2t; \end{cases}$  д)  $y = (1+x^2) \arctg x, y_x'' - ?$

2. Знайти рівняння дотичної і нормалі до кривої  $y = \sqrt{x+4}$  в точці з абсцисою  $x_0 = -3$ .

3. Якими повинні бути лінійні розміри прямокутного паралелепіпеда з діагоналлю  $d$ , щоб його об'єм був найбільшим?

### № 17

1. Користуючись правилами диференціювання, знайти похідні  $y'_x$  заданих функцій:

а)  $y = \sqrt{1-x^2} + \sqrt{x} \arcsin \sqrt{x}$ ; б)  $y = (7^{\operatorname{tg}^2 x} + \cos^2 6x)^4$ ;

в)  $y = x^{\operatorname{ctg} x}$ ; г)  $\begin{cases} x = \ln \operatorname{ctg} t, \\ y = \operatorname{ctg}^2 t; \end{cases}$  д)

$y = x^2 \ln x$ ,  $y_x'' - ?$

2. Обчислити наближено  $\sqrt{17}$ .

3. Серед прямокутників заданого периметра  $2p$  знайти той, площа якого найбільша.

### № 18

1. Користуючись правилами диференціювання, знайти похідні  $y'_x$  заданих функцій:

а)  $y = x^3 \sqrt{1+x^2} + 5x^{\frac{1}{2} + \cos 3x}$ ; б)  $y = \ln \sqrt[5]{\frac{x^5 - 3}{x^5 + 3}}$ ; в)  $y = x^{x+1}$ ;

г)  $\begin{cases} x = 2t - \sin 2t, \\ y = 8 \sin^3 t; \end{cases}$  д)  $y = \frac{x}{x^2 - 1}$ ,  $y_x'' - ?$

2. Визначити, під яким кутом парабола  $y = x^2 - x$  перетинає вісь абсцис.

3. Яке співвідношення повинно існувати між розмірами прямокутних вікон заданого периметра  $p$ , щоб освітленість приміщення була найбільшою?

### № 19

1. Користуючись правилами диференціювання, знайти похідні  $y'_x$  заданих функцій:

а)  $y = \ln \cos e^{-4x} + \operatorname{arctg} \sqrt{x-1}$ ; б)  $y = (4^{\sin 2x} + \operatorname{ctg} 3x)^5$ ;

в)

$$y = (\cos^2 x)^x; \text{г)}$$

$$\begin{cases} x = \arcsin t, \\ y = \sqrt{1-t^2}; \end{cases} \text{д) } y = \ln(x + \sqrt{1+x^2}), y_x'' - ?$$

2. Обчислити наближено  $e^{0,2}$ .
3. Знайти таке додатне число, щоб різниця між ними і його кубом була найменшою.

### № 20

1. Користуючись правилами диференціювання, знайти похідні  $y'_x$  заданих функцій:

$$\text{а) } y = 2^{(x^3 + \sin 3x)} \arctg 2x; \text{б) } y = \sqrt[4]{\frac{3x^2 + 1}{3 - x^2}}; \text{в) } y = (\text{ctg } x)^{\cos x};$$

$$\text{г) } \begin{cases} x = 5 \cos^2 t, \\ y = 3 \sin^2 t; \end{cases} \text{д) } y = x \arctg x, y_x'' - ?$$

2. Знайти рівняння дотичної і нормалі до кривої  $y = x^3 - 2x^2 + 4x - 7$  в точці  $M_0(2;1)$ .
3. Вікно має форму прямокутника, що закінчується півкругом. Які повинні бути розміри вікна, щоб воно пропускало найбільше світла?

### № 21

1. Користуючись правилами диференціювання, знайти похідні  $y'_x$  заданих функцій:

$$\text{а) } y = \arcsin 3^{x^2} + e^x \cos 3x; \text{б) } y = \ln \sqrt[5]{\frac{3x^2 + 1}{x^3 + x}};$$

$$\text{в) } y = (\ln x)^{\sin x}; \text{г) } \begin{cases} x = \arctg t, \\ y = \ln(1 + t^2); \end{cases} \text{д) } y = e^x \cos x, y_x'' - ?$$

2. Обчислити наближено  $\arctg 0,97$ .
3. Необхідно виготовити конічну лійку, твірна якої дорівнює  $l$ . Якою повинна бути висота лійки, щоб вона мала найбільшу ємкість?

### № 22

1. Користуючись правилами диференціювання, знайти похідні  $y'_x$  заданих функцій:

а)  $y = \ln \sqrt{x + \sqrt{x^2 + 1}} + x^2 \cos 2x;$  б)

$y = (3^{\arcsin 2x} - \sqrt[3]{x})^2;$

в)  $y = (\arctg x)^{x^2};$  г)  $\begin{cases} x = \sin t - t \cos t, \\ y = \cos t - t \sin t; \end{cases}$  д)  $y = x^3 \ln x, y''_x - ?$

2. Знайти рівняння дотичної і нормалі до кривої  $y = x^2 - 6x + 2$  в точці з абсцисою  $x_0 = 2$ .

3. Довести, що на виготовлення намету у формі конуса даного об'єму  $V$  піде найменша кількість матеріалу за умови, що його висота у  $\sqrt{2}$  разів буде більшою за радіус основи.

### № 23

1. Користуючись правилами диференціювання, знайти похідні  $y'_x$  заданих функцій:

а)  $y = \ln \arccos \frac{1}{x} + x \cos 3x;$  б)  $y = \ln \sqrt[3]{\frac{7x^5}{x^5 - 3^{5x}}};$  в)

$y = x^{\text{ctg } x};$

г)  $\begin{cases} x = \sin t - t \cos t, \\ y = \cos t + t \sin t; \end{cases}$  д)  $y = e^{-3x}, y''_x - ?$

2. Обчислити наближено  $\sqrt[4]{17}$ .

3. Знайти таке додатне число, яке в сумі з оберненим до нього числом буде мати найменше значення.

### № 24

1. Користуючись правилами диференціювання, знайти похідні  $y'_x$  заданих функцій:

а)  $y = 2 \ln \arctg \sqrt{x^2 - 1} + x^2 \text{tg } 2x;$  б)  $y = (4^{\cos^2 x} - \text{ctg}^3 x)^5;$



$$\text{в) } y = (\sin x)^{\cos x}; \quad \text{г) } \begin{cases} x = \frac{1}{\cos t}, \\ y = \operatorname{tg} t; \end{cases} \quad \text{д) } y = x^5 \ln x, y_x'' - ?$$

2. Визначити, під яким кутом синусоїда  $y = \sin x$  перетинає вісь абсцис в початку координат.

3. З усіх прямокутників, що мають задану площу  $S$ , знайти той, периметр якого найбільший.

### № 25

1. Користуючись правилами диференціювання, знайти похідні  $y'_x$  заданих функцій:

$$\text{а) } y = \ln \arccos \sqrt{1 - 4x^2} + x \ln 2x; \quad \text{б) } y = (2^{\sin x} + \arctg^2 x)^5;$$

$$\text{в) } y = (\operatorname{tg} x)^{x^2}; \quad \text{г) } \begin{cases} x = e^{1+2t}, \\ y = e^{3t-1}; \end{cases} \quad \text{д) } y = \ln(ax+b), y_x'' - ?$$

2. Обчислити наближено  $e^{0,2-(0,2)^2}$ .

3. Основа трикутника дорівнює  $a$ , а його периметр  $2p$ . Якими повинні бути розміри двох інших сторін, щоб його площа була найбільшою?

### № 26

1. Користуючись правилами диференціювання, знайти похідні  $y'_x$  заданих функцій:

$$\text{а) } y = \arcsin \sqrt{1-x} + 2^x \cos 3x; \quad \text{б) } y = \ln \sqrt[3]{\left(\frac{3x^2+7}{3x^2-7}\right)^4};$$

$$\text{в) } y = (\operatorname{tg} 2x)^{\cos 2x}; \quad \text{г) } \begin{cases} x = \arctg 3t, \\ y = \ln(1+9t^2); \end{cases} \quad \text{д) } y = e^{-x^2}, y_x'' - ?$$

2. Знайти рівняння дотичної і нормалі до кривої

$$y = \frac{x^4}{4} - 27x + 60 \quad \text{в точці з абсцисою } x_0 = 2.$$

3. Довести, що з усіх прямокутників заданої площі  $a^2$ , найменший периметр має квадрат.

### № 27

1. Користуючись правилами диференціювання, знайти похідні  $y'_x$  заданих функцій:

а)  $y = \ln \arccos \frac{1}{x} + xe^{3x}$ ; б)  $y = (4^{\lg x} - \operatorname{ctg}^2 7x)^5$ ;

в)  $y = (x+1)^{x^2}$ ; г)  $\begin{cases} x = 2t \operatorname{tg} t, \\ y = 2 \sin^2 t - \cos 2t; \end{cases}$

д)  $y = x^2 \cos x$ ,  $y_x'' - ?$

2. Обчислити наближено  $\cos 61^\circ$ .

3. Відрізок довжиною  $a$  поділити на дві частини так, щоб сума площ квадратів, побудованих на цих частинах, була мінімальною.

### № 28

1. Користуючись правилами диференціювання, знайти похідні  $y'_x$  заданих функцій:

а)  $y = \ln \cos 3^{x^3} + x^6 \operatorname{ctg} 3x$ ; б)  $y = \ln \sqrt{\frac{1-x^2}{x^3-3x}}$ ; в)

$y = x^{\arccos x}$ ;

г)  $\begin{cases} x = e^t \cos t, \\ y = e^t \sin t; \end{cases}$  д)  $y = \sqrt{x+7}$ ,  $y_x'' - ?$

2. Обчислити наближено  $\operatorname{arctg} 1,01$ .

3. Кусок дроту довжиною  $l$  зігнутий у формі прямокутника. Які повинні бути розміри цього прямокутника, щоб його площа була найбільшою?

### № 29

1. Користуючись правилами диференціювання, знайти похідні  $y'_x$  заданих функцій:

а)  $y = \frac{\operatorname{tg}^3 x}{3} + \ln \arcsin \sqrt{1-4x^2}$ ; б)  $y = (2^{\operatorname{arctg} 5x} + \operatorname{arccotg} 6x)^3$ ;

$$\text{в) } y = (x^4 + 3)^{\sin x}; \quad \text{г) } \begin{cases} x = e^{2t}, \\ y = \cos t; \end{cases} \quad \text{д) } y = x\sqrt{1+x^2}, y_x'' - ?$$

2. Визначити, під яким кутом крива  $y = \frac{x-1}{1+x^2}$  перетинає вісь

абсцис.

3. Яким повинен бути радіус основи відкритого зверху циліндра місткості  $V$ , щоб на його виготовлення пішла найменша кількість матеріалу?

### № 30

1. Користуючись правилами диференціювання, знайти похідні  $y'_x$  заданих функцій:

$$\text{а) } y = \sqrt[3]{x^3 + 1} + x\sqrt{1-x^2}; \quad \text{б) } y = \ln \sqrt[8]{\frac{x^3 + 1}{x^3 - 1}}; \quad \text{в) } y = x^{\arctg x};$$

$$\text{г) } \begin{cases} x = \text{ctg} t, \\ y = \frac{1}{\cos^2 t}; \end{cases} \quad \text{д) } y = \arctg \frac{x}{a}, y_x'' - ?$$

2. Обчислити наближено  $(5,07)^3$ .

3. Подати число 8 у вигляді суми таких двох доданків, щоб сума їх кубів була найменшою.

## 8. Відповіді до завдань для самоконтролю

### Тема 1

1. а)  $\{(2;3)\}$ ; б)  $\left\{ \left( x_1 \in R; x_2 = \frac{3x_1 - 5}{4} \right) \right\}$ ; в) несумісна;

г)  $\{(2;-1;0)\}$ ; д) несумісна;

е)  $\left\{ \left( x_1 = \frac{9 - x_3}{4}; x_2 = \frac{3x_3 + 3}{2}; x_3 \in R \right) \right\}$ .

2. а) 10; б) -56; в) 10,5; г)  $\sqrt{129}$ .

3.а)  $\overline{AB} = (-1; 2; 1)$ ,  $|\overline{AB}| = \sqrt{6}$ ;  $\overline{AC} = (0; 1; -2)$ ,  $|\overline{AC}| = \sqrt{5}$ ; б)

$$\varphi = \frac{\pi}{2};$$

в)  $\sqrt{5}$ .

4.  $\alpha = -3$ .

### Тема 2

1.а)  $AB: 6x - 7y - 3 = 0$ ,  $\bar{n}_1 = (6; -7)$ ,  $k_{AB} = \frac{6}{7}$ ;

$AC: 2x + y - 11 = 0$ ,  $\bar{n}_2 = (2; 1)$ ,  $k_{AC} = -2$ ; б)  $\frac{x}{\frac{11}{2}} + \frac{y}{11} = 1$ ;

в)  $2x - 9y + 19 = 0$ ; г)  $7x + 6y - 56 = 0$ ,  $|CE| \approx 4,34$  (лін.од.);

д)  $\varphi \approx 76^\circ$ ; е) 1.  $x - 2y - 3 = 0$ , 2.  $2x + y + 9 = 0$ ; е)  $\left( 1; \frac{7}{3} \right)$ .

2.  $(x - 5)^2 + (y - 6)^2 = 13$ .

3.  $\frac{x^2}{144} + \frac{y^2}{108} = 1$ .

4.  $a=3, b=2, F_1(0; -\sqrt{5}), F_2(0; \sqrt{5}), \varepsilon = \frac{\sqrt{5}}{3}$ .

5.  $\frac{x^2}{64} - \frac{y^2}{36} = 1$ .

6.  $F_1(-5;0), F_2(5;0), \varepsilon = \frac{5}{4}, y = \pm \frac{3}{4}x$ .

7. (2;1), (-6;9).

8. а)  $(x-2)^2 + (y+3)^2 = 9$  – коло;

б)  $\frac{(x+4)^2}{9} + \frac{(y-3)^2}{4} = 1$  – еліпс; в)  $\frac{(x-6)^2}{30} - \frac{(y-3)^2}{5} = 1$  –

гіпербола; г)  $(x-4)^2 = -2(y+1)$  – парабола.

### Тема 3

1. а)  $x \in [-1; +\infty)$ ; б)  $x \in (-\infty; 1) \cup (1; 3) \cup (3; +\infty)$ ;

в)  $x \in (-\infty; -3) \cup (3; +\infty)$ ; г)  $x \in [1; 3)$ ; д)  $x \in \mathbb{R}$ .

2. а)  $\frac{3}{5}$ ; б) 0; в)  $\infty$ ; г)  $\frac{1}{2}$ ; д)  $-\frac{3}{7}$ ; е)  $\frac{1}{4}$ ; є)  $\frac{3}{2}$ ; ж)  $\frac{25}{2}$ ; з)  $\frac{1}{\sqrt{e}}$ .

3.  $x=1$  – точка розриву I-го роду.

### Тема 4

1. а)  $y' = -4^{\cos^2 x} \ln 4 \sin 2x + 7x^6 \operatorname{arctg} 2x + \frac{2x^7}{1+4x^2}$ ;

б)  $y' = \frac{5}{8x-1} - \frac{5x^7}{x^8+3}$ ;

в)  $y' = (\cos x)^{\operatorname{arctg} x} \left( \frac{\ln \cos x}{1+x^2} - \operatorname{tg} x \cdot \operatorname{arctg} x \right)$ ; г) -1;

д)  $y''' = -4(2x^2 \cos 2x + 6x \sin 2x - 3 \cos 2x)$ .

2. а) -0,1; б)  $\approx 1,994$ . 3.  $x+y-4=0$ ;  $x-y=0$ . 4.  $3\sqrt{3}r^2$ .

## 9. Використана та рекомендована література

1. Брушковський О. Л., Дубчак І. В., Цецик С. П. Практикум з вищої математики : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2017. 178 с. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/6962>

2. Бугір М. К. Посібник з теорії ймовірності та математичної статистики / МОН України. Тернопіль : Підручники і посібники, 1998. 176 с.

3. Вища математика. Збірник задач : навч. посіб. Ч. 2 : Диференціальне та інтегральне числення / А. Д. Тевяшев, О. Г. Литвин, Г. М. Кривошеєва и др. Харків : СМІТ, 2010. 330 с.

4. Математичний аналіз у задачах і прикладах: у 2 ч. / Л. І. Дюженкова, Т.В.Колесник, М. Я. Лященко та ін. Київ : Вища школа, 2002. Ч1. 462 с.; ч.2. 470 с.

5. Лубенська Т. В., Чупаху Л. Д. Вища математика в таблицях : довідник. К. : МАУП, 1999. 88 с.

6. Мізюк В. Г. Вища математика : навч.-метод. посіб. Рівне : НУВГП, 2010. 163 с. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/2381/>

7. Овчинников П. П., Яремчук Ф. П., Михайленко В. М. Вища математика : підручник: у 2-х ч. Ч.1: Лінійна і векторна алгебра. Аналітична геометрія. Вступ до математичного аналізу. Диференціальне і інтегральне числення / За заг. ред. П. П. Овчинникова; пер. з рос. П. М. Юрченка. 3-тє вид., випр. К. : Техніка, 2003. 600 с.

8. Посібник для розв'язування задач з вищої математики : навч. посіб. Ч. 1 : Лінійна алгебра. Векторна алгебра. Аналітична геометрія / Н. С. Бутенко, О. Г. Нерух, Н. М. Ружицька, Н. П. Стогній; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. Харків : ХНУРЕ, 2018. 172 с.

9. Посібник для розв'язування задач з вищої математики : навч. посіб. Ч. 2 : Диференціальне та інтегральне числення функцій однієї змінної / Н. С. Бутенко, О. Г. Нерух, Н. М. Ружицька, Н. П. Стогній ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. Харків : ХНУРЕ, 2018. 268 с.

10. Пушак Я. С. Теорія ймовірностей і елементи математичної статистики : навчальний посібник / Я. С. Пушак, Б. Л. Лозовий. Львів : «Магнолія 2006». 2007. 276 с.

11. Лінійна алгебра та аналітична геометрія. / Ю. К. Рудавський, П. П. Костробій, Х. П. Луник, Д. В. Уханська. Л. : Бескид Біт, 2002. 262с.

12. Збірник задач з математичного аналізу: у 2 ч. / Ю. К. Рудавський, П. П. Костробій, Л. Л. Лібацький та ін. Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2003-2008. Ч. 1. 2008. 352 с.; ч. 2. 2003. 232 с.

13. Шкіль М. І., Колесник Т. В., Котлова В. М. Вища математика : підручник: у 3-х кн. К. : Либідь, 1994. Кн. 1.: Аналітична геометрія з елементами алгебри. Вступ до математичного аналізу. 280с.

14. Шкіль М. І., Колесник Т. В., Котлова В. М. Вища математика: підручник: у 3-х кн. К. : Либідь, 1994. Кн. 2: Диференціальне та інтегральне числення функцій однієї змінної. Ряди. 352 с.

15. Шкіль М. І., Колесник Т. В., Котлова В. М. Вища математика: підручник: у 3-х кн. К.: Либідь, 1994. Кн. 3: Диференціальне та інтегральне числення функцій багатьох змінних. Диференціальні рівняння. 352 с.

16. Ярмуш Я. І., Самолюк І. В. Вища математика. Практикум : навч. посіб. / Я. І. Ярмуш, Рівне : НУВГП, 2015. 148 с. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/5632>