

# Система Джонс-матричного картографування плівок плазми крові для діагностування патологій молочних залоз



*Карась О.В., магістрант, ЛОТ-15м*

*Науковий керівник – к.т.н., доцент Заболотна Н.І.*

*Вінницький національний технічний університет*

# Актуальність теми:

- Метод матриць Джонса ефективно може застосовуватись для досліджень в прозорих середовищах, де майже відсутня втрата поляризації. При цьому матриці Джонса однорідних середовищ, до яких відносяться тонкі плівки плазми крові, не містять надлишкової інформації – чотири комплексних елемента матриці містять вісім параметрів, жоден із яких не є функцією іншого.
- На відміну від стокс- та мюллер-поляриметрії гістологічних зрізів молочних залоз дана методика не є травматичною, що дозволяє застосовувати її на ранніх стадіях захворювання.
- Таким чином, актуальність дослідження зумовлена необхідністю нових методів в системах лазерної поляриметрії плівок плазми крові для оцінювання патологічних змін у молочних залозах, що дозволить досягти високого рівня достовірності діагностування.

# Мета:

Підвищення ефективності системи двовимірної лазерної поляриметрії для оцінювання патологічних змін молочних залоз шляхом застосування методів поляризаційного Джонс-матричного картографування плівок плазми крові людини в поєднанні із статистичним аналізом отриманих зображень та диференціацією патологій на їх основі за правилами нечіткої логіки.

# Для досягнення мети необхідно розв'язати такі задачі:

- Провести аналіз оптичних методів і систем лазерної поляриметрії біологічних тканин і рідин людини для діагностування патологічних змін молочних залоз.
- Розвинути концепцію побудови засобів автоматизованої поляризаційної мікроскопії плівок плазми крові людини для оцінювання патологічних змін молочних залоз шляхом застосування методів Джонс-матричного картографування плазми крові людини із наступним статистичним аналізом отриманих розподілів.
- Удосконалити архітектуру та алгоритмічне забезпечення автоматизованої поляризаційної системи Джонс-матричного картографування мазків плазми крові для оцінювання патологічних змін молочних залоз.
- Провести експериментальні дослідження дійсних та уявних елементів матриці Джонса плівок плазми крові двох груп пацієнтів з фізіологічними станами «норма», «рак молочної залози» та визначити їх взаємозв'язок із відповідними статистичними моментами 1- 4 го порядку для виявлення інформативних ознак діагностування.
- Розробити математичну модель підтримки прийняття рішень в автоматизованій системі Джонс-матричного картографування плівок плазми крові на основі виявлених інформативних ознак та нечітких правил при діагностуванні патологій молочних залоз.
- Оцінити ефективність системи Джонс-матричного картографування плівок плазми крові для оцінювання патологічних змін молочних залоз.

- **Об'єктом дослідження** процеси вимірювання та аналізу поляризаційних та анізотропних параметрів плівок плазми крові людини з подальшим діагностуванням на їх основі патологічних змін молочних залоз
- **Предметом дослідження** методи і система поляризаційного Джонс-матричного картографування мазків плазми крові людини для диференціації патологій молочних залоз.
- **Методи дослідження.** У магістерській кваліфікаційній роботі використані методи прикладної оптики для аналізу стану поляризації поля, розсіяного біологічним об'єктом, при опроміненні його лазерним поляризаційним випромінюванням, методи системного аналізу, методи статистичного аналізу двовимірних розподілів випадкових параметрів поляризації, методи нечіткої логіки для оцінювання патологічних змін біологічних об'єктів.

# Наукова новизна проведеної роботи

- Отримала подальший розвиток концепція побудови засобів автоматизованої поляризаційної мікроскопії біологічних шарів, в якій на основі методів Джонс-матричного картографування плівок плазми крові людини з наступним статистичним аналізом отриманих розподілів досягнуто об'єктивне оцінювання онкологічних змін у молочних залозах для скринінгових (доступніших і менш травматичних) досліджень.
- Вперше знайдено взаємозв'язки між набором статистичних моментів 1-го – 4-го порядків, які характеризують координатні розподіли дійсної та уявної складових джонс-матричних зображень плівок плазми крові людини та фізіологічними станами «норма», «патологія» молочних залоз, що дозволило визначити статистичні моменти 2-го - 4-го порядку як інформативні параметри для подальшої диференціації названих станів.
- Вперше одержано математичну модель підтримки прийняття рішення при оцінюванні стану молочних залоз за Джонс-матричним картографуванням плівок плазми крові із застосуванням статистичного аналізу отриманих зображень для формування діагностичних ознак та їх нечіткого аналізу для диференціації патологій, що дало можливість мінімізувати невизначеність при оцінюванні таких змін.

# Практична значимість отриманих результатів

- Розроблено автоматизовану систему Джонс-матричного картографування біологічних шарів у комплексі із їх статистичним аналізом, що дозволяє визначати принципи вдосконалення поляризаційних систем у різноманітних галузях застосування медичної практики.
- Розроблено алгоритмічне забезпечення автоматизованої системи Джонс-матричного картографування мазків плазми крові, яка може бути використана у скринінгових дослідженнях патологій молочних залоз з метою раннього виявлення пацієнтів з підвищеним ризиком ракового захворювання або хворих на рак.
- Розроблено базу інформативних ознак, що містить значення діапазонів статистичних моментів 1 – 4 порядку мап уявних та дійсних елементів матриць Джонса плівок плазми крові, які відповідають фізіологічним станам «норма», «рак» молочних залоз, що дозволило на основі застосування принципів нечіткої обробки вивести правила прийняття рішення для автоматизованого діагностичного процесу.

# Джонс-матричний метод:

- Метод Джонса побудований на відповідності плоскої монохроматичної світлової хвилі, яка поширюється вздовж напрямку  $z$ , вектору електричного поля  $E$ , що може бути представлений вектором Джонса:

$$\bullet E = \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_{0x} \\ E_{0y} e^{j\delta} \end{bmatrix} e^{j(\omega t + \varphi_x)},$$

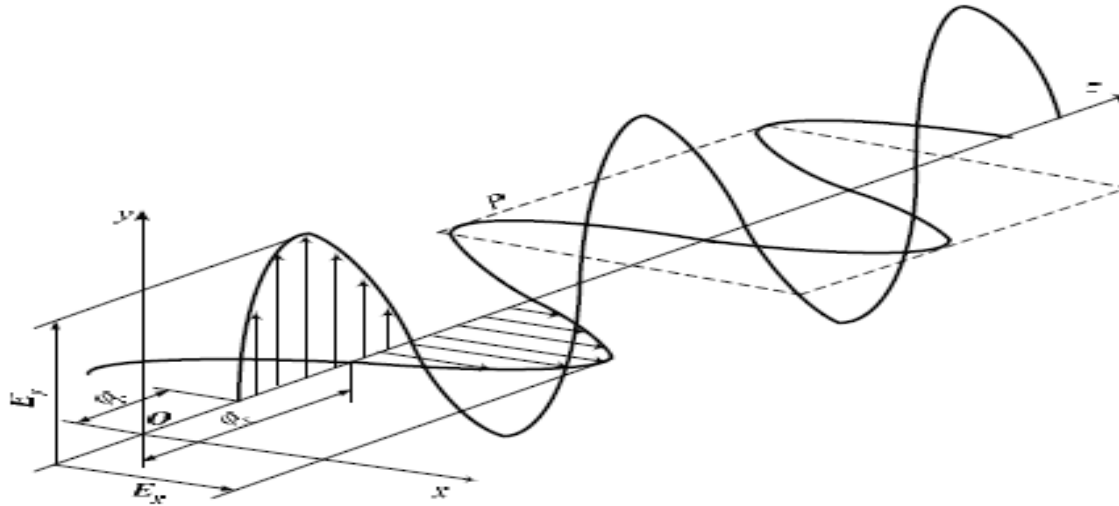
- 
- Де  $E_x = \text{Re}[E_{0x} e^{j(\omega t + \varphi_x)}]$ ,  $E_y = \text{Re}[E_{0y} e^{j(\omega t + \varphi_y)}]$  – амплітуди ортогональних складових вектора  $E$ ,  $\varphi_x$  та  $\varphi_y$  – початкові фази коливань проекцій вектора  $E$  на осі  $x$  та  $y$  відповідно;  $\delta = \varphi_x - \varphi_y$  – різниця фаз між  $E_x$  та  $E_y$ .



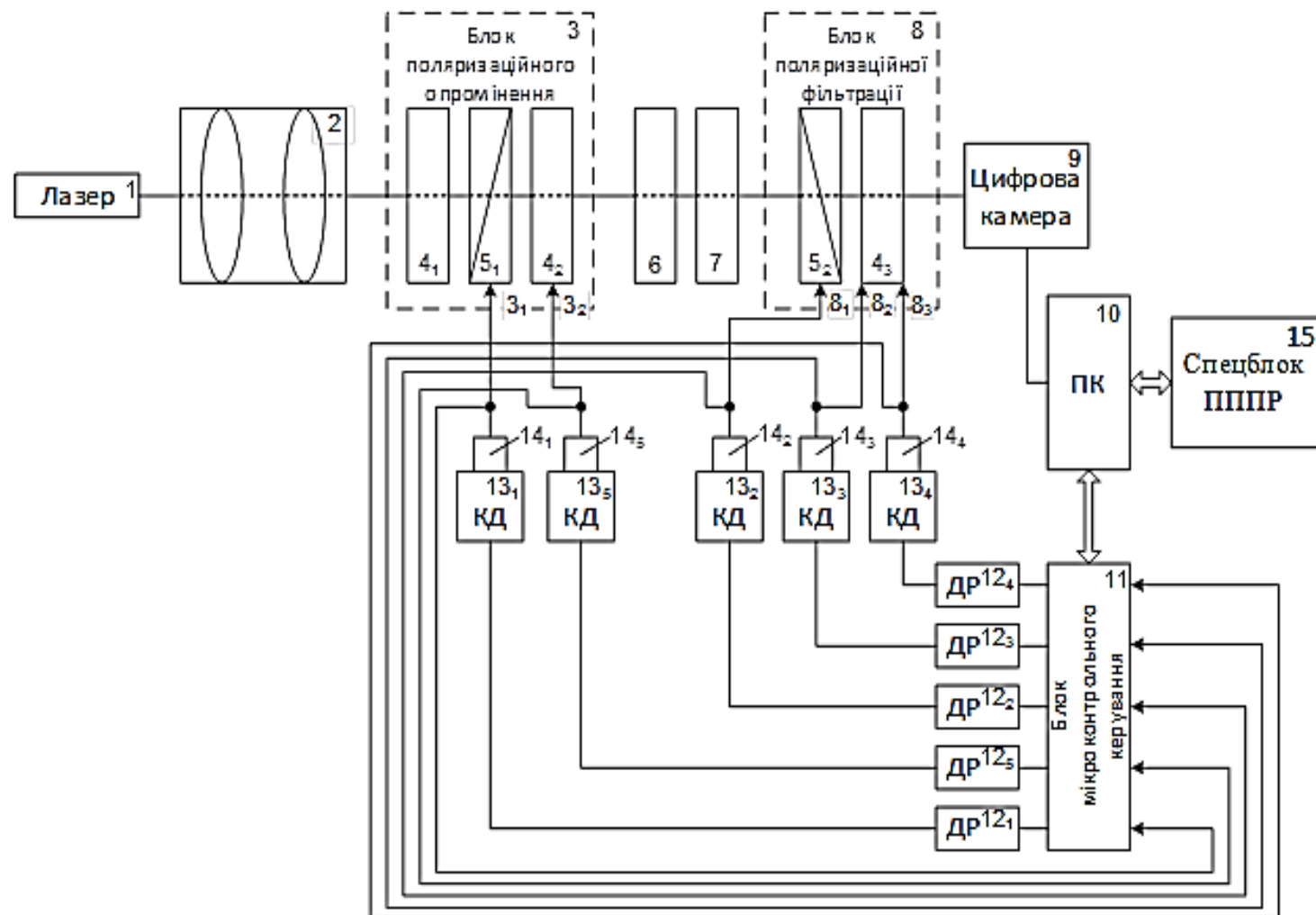
- При лінійній взаємодії поляризованого випромінювання із середовищем, яке змінює його поляризаційні властивості, результуючий електричний вектор приймає вигляд:

- $$E' = \begin{bmatrix} E'_{0x} e^{j\varphi'x} \\ E'_{0y} e^{j\varphi'y} \end{bmatrix} = [J \cdot E],$$

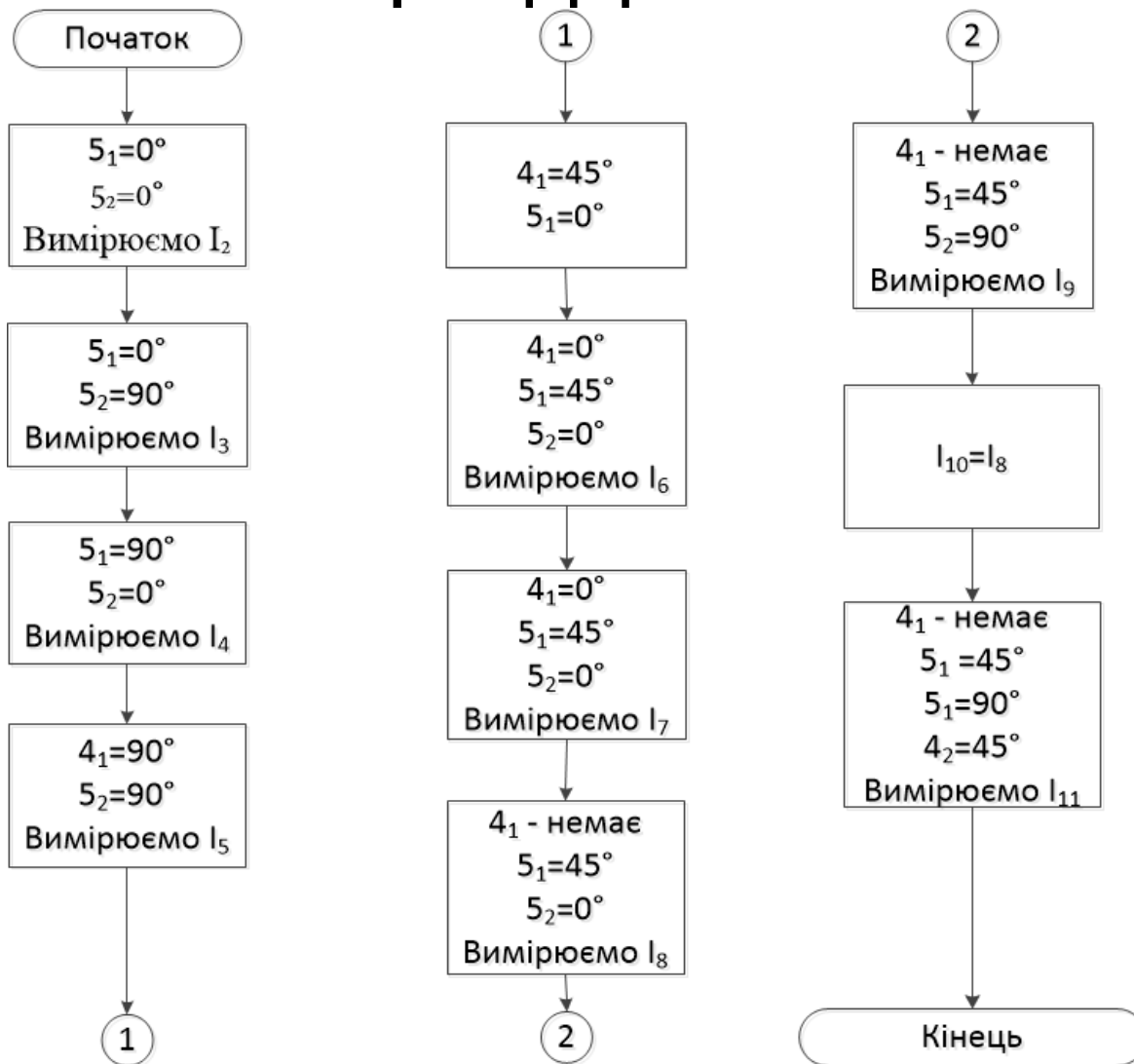
- де  $J = \begin{bmatrix} J_{11} & J_{12} \\ J_{21} & J_{22} \end{bmatrix}$  - матриця перетворення Джонса.



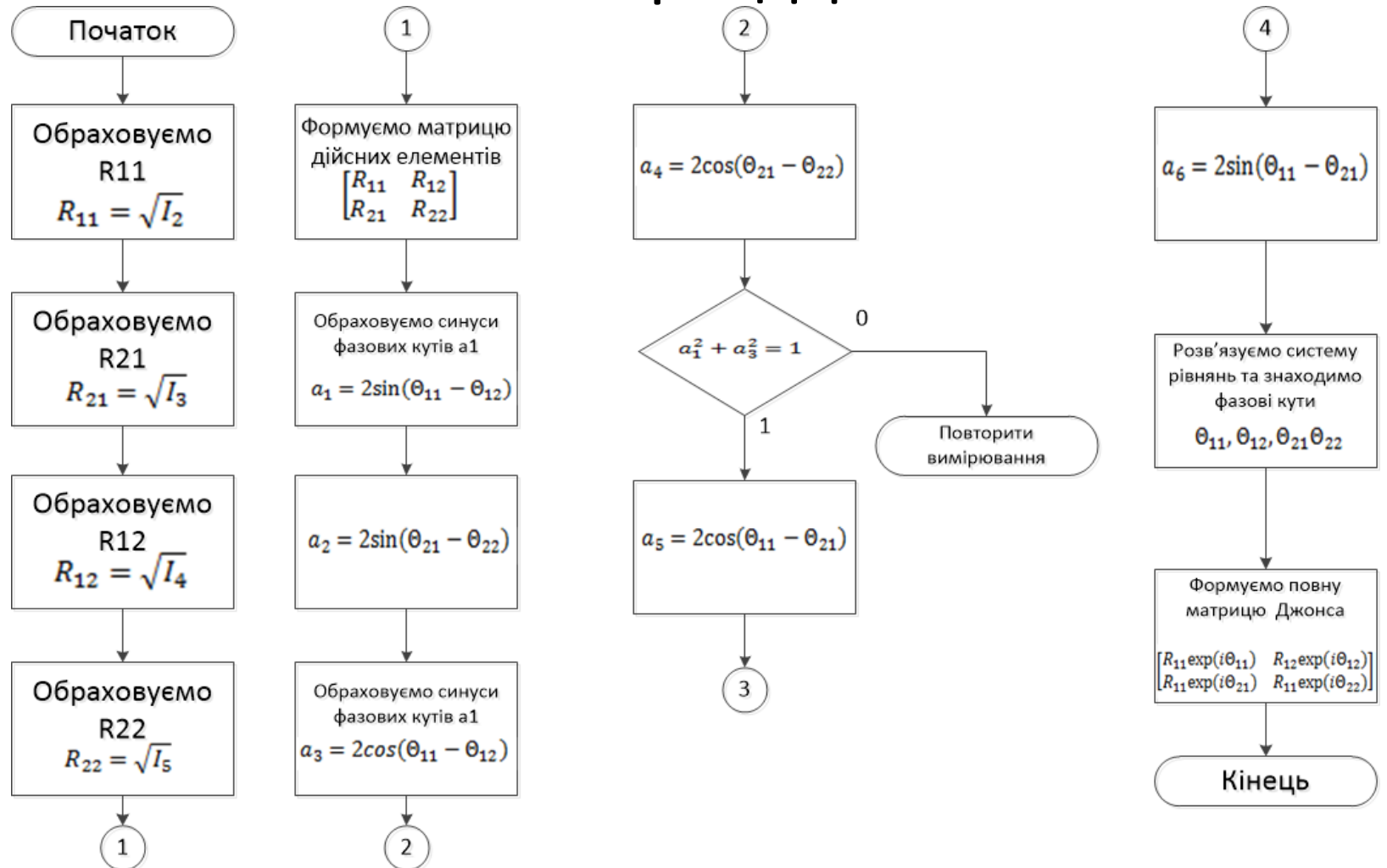
# Архітектура оптико-електронної системи двовимірної лазерної поляриметриї оптико-анізотропних об'єктів



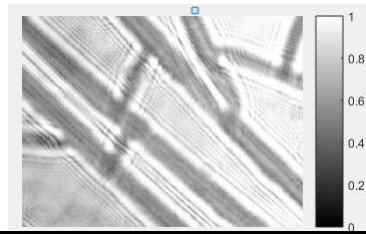
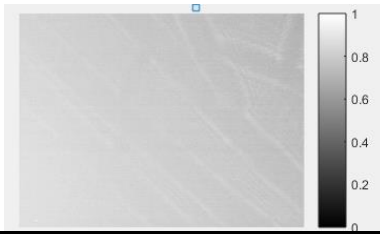
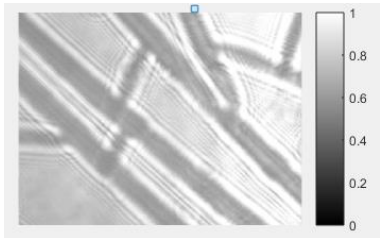
# Блок-схема вимірювання елементів матриці Джонса



# Алгоритм обчислення дійсних та уявних елементів матриці Джонса

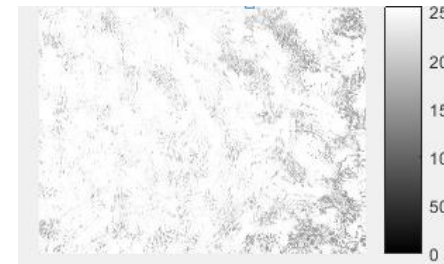
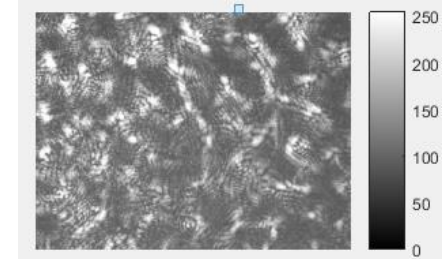
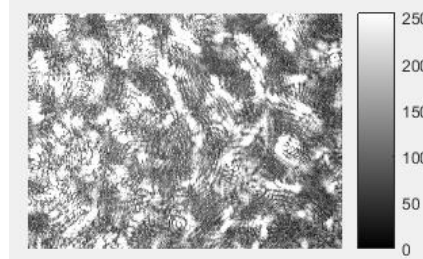


# Дійсні елементи матриці Джонса

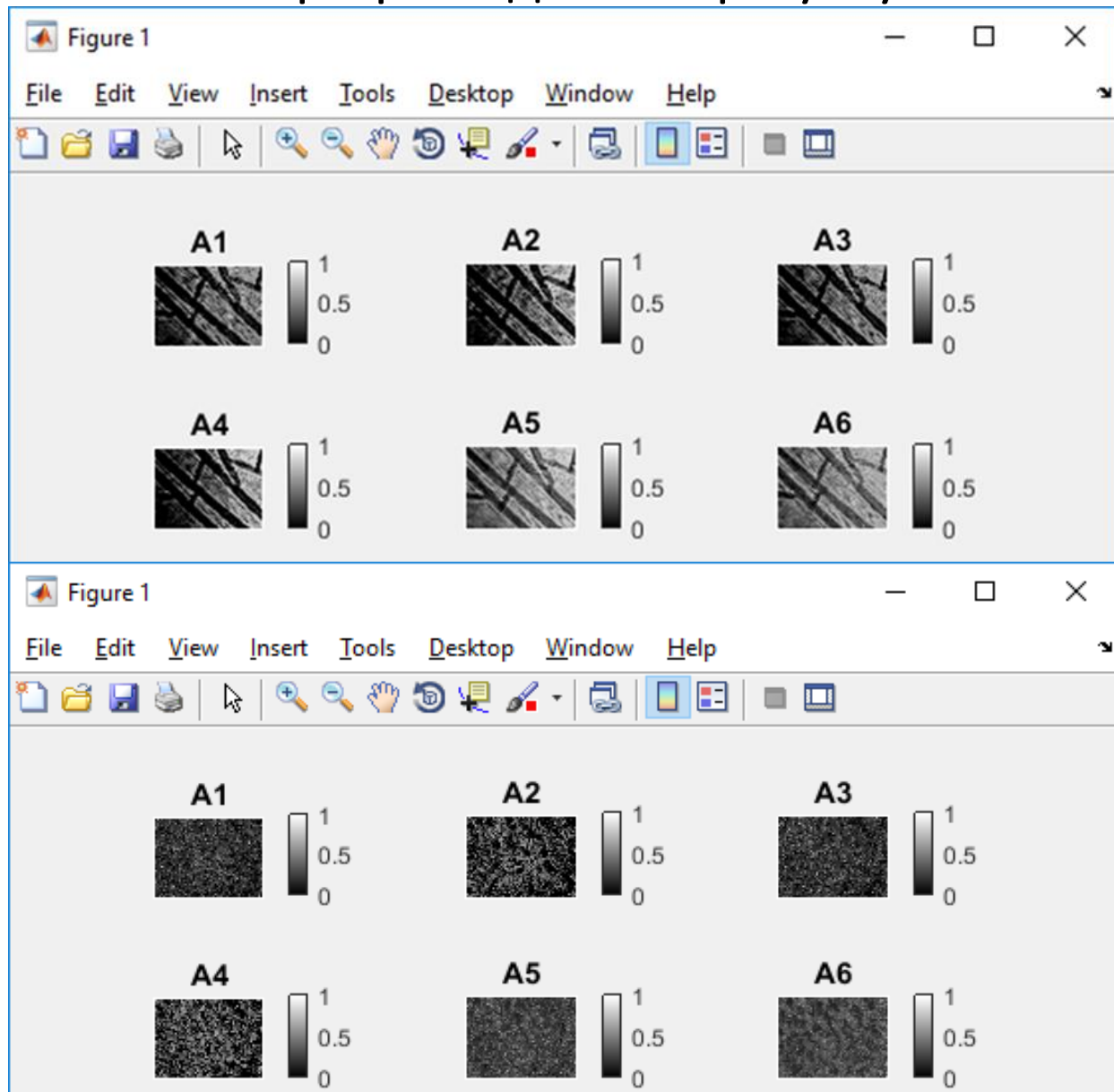


- норма

Патологія -



# Уявні елементи матриці Джонса та вигляд результуючого вікна програми для їх обрахунку



# Базові складові схеми автоматизованої оптико-електронної системи двовимірної лазерної поляриметрії двошарових полікристалічних мереж



Лазерний модулятор HLDPM12-659-25  
Red 659 nm.

Технічні характеристики:

- довжина хвилі: 659 nm;
- вихідна потужність: 0,025 Вт;
- напруга живлення: 3,3 В.



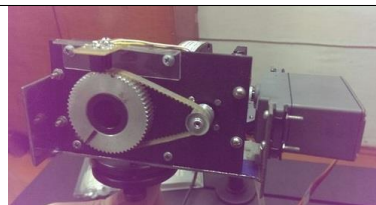
Чвертьхвильові пластинки.



Поляризаційний світлофільтр HRT  
CIR-PL UV – HOYA 52 мм



Цифрова камера для мікроскопів  
Digital Camera for Microscope  
SienceLab DCM13 1.3MPix



Кроковий двигун



Плата мікроконтролерного управління  
кроковими двигунами

# Статистичні методи дослідження

Для кількісної оцінки розподілів введена їх оцінка на основі визначення набору їх статистичних моментів 1-го – 4-го порядків:

$$M_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f(i)$$

$$M_2 = D = \sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} (f(i) - M_1)^2$$

$$M_k = \sum_{i=0}^N (f(i) - M_1)^k p(f(i))$$



# Значення статистичних моментів для дійсних елементів матриці Джонса

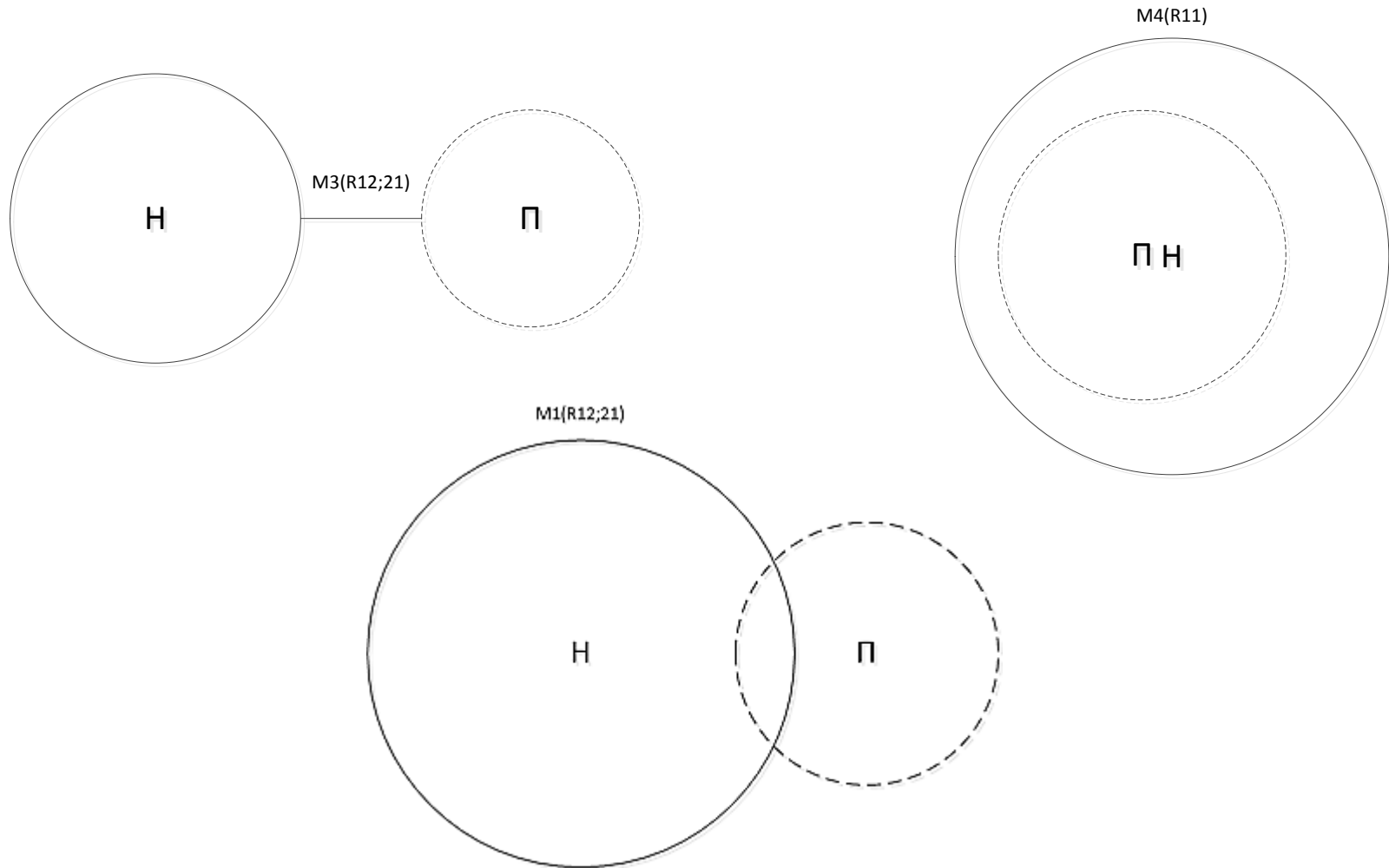
	$R_{11}(m \times n)$ Норма	$R_{12;21}(m \times n)$ норма	$R_{11}(m \times n)$ патологія	$R_{12;21}(m \times n)$ патологія
$M_1$	$0,784 \pm 0,012$	$0,716 \pm 0,056$	$0,797 \pm 0,025$	$0,826 \pm 0,064$
$M_2$	$0,143 \pm 0,08$	$0,089 \pm 0,01$	$0,123 \pm 0,05$	$0,045 \pm 0,025$
$M_3$	$0,127 \pm 0,095$	$0,694 \pm 0,095$	$1,189 \pm 0,22$	$1,016 \pm 0,07$
$M_4$	$3,761 \pm 0,24$	$7,079 \pm 0,52$	$3,262 \pm 0,423$	$3,021 \pm 0,33$

## Значення статистичних моментів для уявних елементів матриці Джонса

	A1 Норма	A2 Норма	A3 Норма	A4 Норма
$M_1$	$0,2271 \pm 0.012$	$0,1822 \pm 0.05$	$0,1988 \pm 0.008$	$0,1797 \pm 0.078$
$M_2$	$0,0781 \pm 0,006$	$0,1177 \pm 0.025$	$0,0836 \pm 0,07$	$0,1309 \pm 0,014$
$M_3$	$-0,2042 \pm 0,06$	$-0,0973 \pm 0.004$	$-0,1575 \pm 0,05$	$-0,1292 \pm 0.005$
$M_4$	$2,1839 \pm 0.64$	$2,3649 \pm 0.88$	$2,1701 \pm 0.048$	$2,4259 \pm 0.086$

	A1 Патологія	A2 Патологія	A3 Патологія	A4 Патологія
$M_1$	$0,1936 \pm 0.022$	$0,1413 \pm 0.002$	$0,2049 \pm 0.05$	$0,2019 \pm 0.1$
$M_2$	$0,0172 \pm 0,015$	$0,0786 \pm 0.009$	$0,0164 \pm 0,016$	$0,0653 \pm 0,009$
$M_3$	$0,4287 \pm 0,098$	$-0,3539 \pm 0.05$	$0,4663 \pm 0,09$	$-0,3089 \pm 0.02$
$M_4$	$3,6941 \pm 0.95$	$2,5681 \pm 0.098$	$3,7374 \pm 0.085$	$2,6893 \pm 0.55$

# Графічне зображення розкиду параметрів для фазової та орієнтаційної томографії



# База даних для комплексної оцінки стану пацієнтів

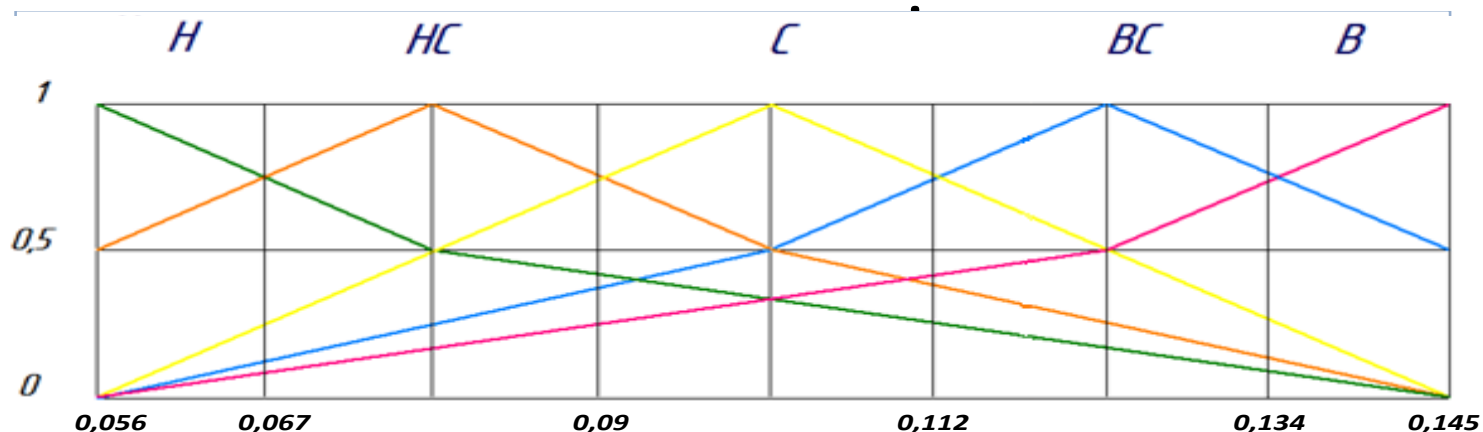
$M_3(R_{11})$	$M_2(R_{12;21})$	$M_3(R_{12;21})$	$M_4(R_{12;21})$
<b>H</b>	<b>C</b>	<b>H</b>	<b>BC</b>
<b>H</b>	<b>BC</b>	<b>HC</b>	<b>B</b>
<b>H</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>-</b>
<b>-</b>	<b>C</b>	<b>HC</b>	<b>B</b>
<b>-</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>-</b>
<b>H</b>	<b>BC</b>	<b>H</b>	<b>BC</b>
<b>-</b>	<b>BC</b>	<b>HC</b>	<b>B</b>

# Математична модель

$$\mu^{y_0}(x_1, x_2, \dots, x_n) = \max[\mu^{y_n}(x_1, x_2, \dots, x_n)]$$

$$\begin{aligned} & \mu^{\text{норма}}(M_3(R_{11}), M_2(R_{12;21}), M_3(R_{12;21}), M_4(R_{12;21})) = \\ & \max \left\{ \min \left[ \mu^H(M_3(R_{11})) \wedge \mu^C(M_2(R_{12;21})) \wedge \mu^H(M_3(R_{12;21})) \wedge \right. \right. \\ & \left. \left. \mu^{BC}(M_4(R_{12;21})) \right] \vee \right. \\ & \left. \min \left[ \mu^H(M_3(R_{11})) \wedge \mu^{BC}(M_2(R_{12;21})) \wedge \mu^{HC}(M_3(R_{12;21})) \wedge \mu^B(M_4(R_{12;21})) \right] \vee \right. \\ & \left. \min \left[ \mu^H(M_3(R_{11})) \wedge \mu^B(M_2(R_{12;21})) \wedge \mu^C(M_3(R_{12;21})) \right] \vee \min \left[ \mu^H(M_3(R_{11})) \wedge \right. \right. \\ & \left. \left. \mu^C(M_2(R_{12;21})) \wedge \mu^H(M_3(R_{12;21})) \wedge \mu^{BC}(M_4(R_{12;21})) \right] \vee \right. \\ & \left. \min \left[ \mu^C(M_2(R_{12;21})) \wedge \mu^{HC}(M_3(R_{12;21})) \wedge \mu^B(M_4(R_{12;21})) \right] \vee \right. \\ & \left. \min \left[ \mu^C(M_2(R_{12;21})) \wedge \mu^{HC}(M_3(R_{12;21})) \right] \vee \right. \\ & \left. \min \left[ \mu^H(M_3(R_{11})) \wedge \mu^{BC}(M_2(R_{12;21})) \wedge \mu^H(M_3(R_{12;21})) \wedge \mu^{BC}(M_4(R_{12;21})) \right] \vee \right. \\ & \left. \min \left[ \mu^{BC}(M_2(R_{12;21})) \wedge \mu^{HC}(M_3(R_{12;21})) \wedge \mu^{BB}(M_4(R_{12;21})) \right] \vee \right. \\ & \left. \min \left[ \mu^{BC}(M_2(R_{12;21})) \wedge \mu^C(M_3(R_{12;21})) \right] \vee \right. \\ & \left. \min \left[ \mu^H(M_3(R_{11})) \wedge \mu^B(M_2(R_{12;21})) \wedge \mu^H(M_3(R_{12;21})) \wedge \mu^{BC}(M_3(R_{12;21})) \right] \vee \right. \end{aligned}$$

# Графічне та аналітичне представлення функцій



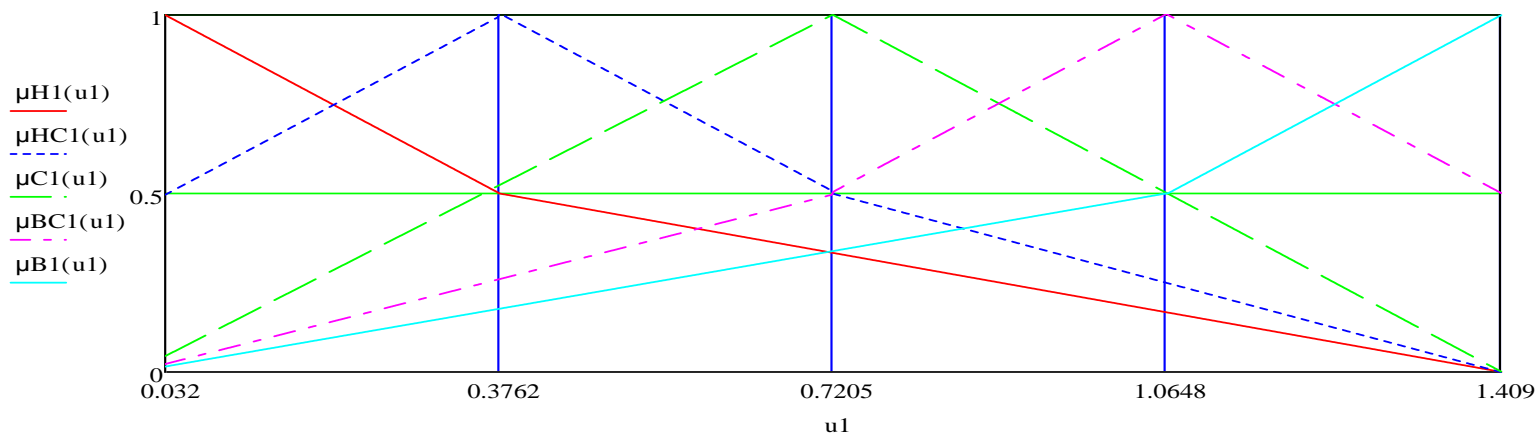
$$\mu_{H1}(u_1) := \begin{cases} (1.046 - 1.45 \cdot u_1) & \text{if } 0.032 \leq u_1 \leq 0.376 \\ \frac{1.409 - u_1}{2.066} & \text{if } 0.376 \leq u_1 \leq 1.409 \end{cases}$$

$$\mu_{C1}(u_1) := \begin{cases} (1.39 \cdot u_1) & \text{if } 0.032 \leq u_1 < 0.72 \\ (2.045 - 1.451u_1) & \text{if } 0.72 \leq u_1 \leq 1.409 \end{cases}$$

$$\mu_{HC1}(u_1) := \begin{cases} 0.45 + 1.45 \cdot u_1 & \text{if } 0.032 \leq u_1 \leq 0.376 \\ 1.55 - 1.45 \cdot u_1 & \text{if } 0.376 \leq u_1 \leq 0.72 \\ 1.022 - 0.726 \cdot u_1 & \text{if } 0.72 \leq u_1 \leq 1.409 \end{cases}$$

$$\mu_{BC1}(u_1) := \begin{cases} (0.69 \cdot u_1) & \text{if } 0.032 \leq u_1 < 0.72 \\ (1.45 \cdot u_1 - 0.54) & \text{if } 0.72 \leq u_1 < 1.065 \\ (2.548 - 1.453 \cdot u_1) & \text{if } 1.065 \leq u_1 \leq 1.409 \end{cases}$$

$$\mu_{B1}(u_1) := \begin{cases} (0.47 \cdot u_1) & \text{if } 0.032 \leq u_1 < 1.065 \\ (1.453 \cdot u_1 - 1.048) & \text{if } 1.065 \leq u_1 \leq 1.409 \end{cases}$$



# Розрахунок кінцевого результату постановки діагнозу засобами нечіткої логіки

$$\begin{aligned} Y1 &:= \min(\mu_{H1}(u1), \mu_{C2}(u2), \mu_{H3}(u3), \mu_{BC4}(u4)) = 0.25 & Y12 &:= \min(\mu_{BC2}(u2), \mu_{H3}(u3), \mu_{B4}(u4)) = 0.605 \\ Y2 &:= \min(\mu_{H1}(u1), \mu_{BC2}(u2), \mu_{HC3}(u3), \mu_{B4}(u4)) = 0.75 & Y13 &:= \min(\mu_{B2}(u2), \mu_{H3}(u3)) = 0.605 \\ Y3 &:= \min(\mu_{H1}(u1), \mu_{B2}(u2), \mu_{C3}(u3)) = 0.389 & Y14 &:= \min(\mu_{H1}(u1), \mu_{C2}(u2), \mu_{HC3}(u3), \mu_{BC4}(u4)) = 0.25 \\ Y4 &:= \min(\mu_{C2}(u2), \mu_{HC3}(u3), \mu_{BC4}(u4)) = 0.25 & Y15 &:= \min(\mu_{B2}(u2), \mu_{HC3}(u3)) = 0.75 \\ Y5 &:= \min(\mu_{C2}(u2), \mu_{HC3}(u3)) = 0.25 & Y16 &:= \min(\mu_{H1}(u1), \mu_{C2}(u2), \mu_{C3}(u3), \mu_{BC4}(u4)) = 0.25 \\ Y6 &:= \min(\mu_{H1}(u1), \mu_{BC2}(u2), \mu_{H3}(u3), \mu_{BC4}(u4)) = 0.605 & Y17 &:= \min(\mu_{BC2}(u2), \mu_{C3}(u3), \mu_{B4}(u4)) = 0.389 \\ Y7 &:= \min(\mu_{BC2}(u2), \mu_{HC3}(u3), \mu_{B4}(u4)) = 0.75 & Y18 &:= \min(\mu_{BC2}(u2), \mu_{HC3}(u3), \mu_{BC4}(u4)) = 0.716 \\ Y8 &:= \min(\mu_{BC2}(u2), \mu_{C3}(u3)) = 0.389 & Y19 &:= \min(\mu_{B2}(u2), \mu_{C3}(u3), \mu_{BC4}(u4)) = 0.389 \\ Y9 &:= \min(\mu_{H1}(u1), \mu_{B2}(u2), \mu_{H3}(u3), \mu_{BC4}(u4)) = 0.605 & Y20 &:= \min(\mu_{H1}(u1), \mu_{C2}(u2), \mu_{H3}(u3), \mu_{B4}(u4)) = 0.25 \\ Y10 &:= \min(\mu_{B2}(u2), \mu_{HC3}(u3), \mu_{B4}(u4)) = 0.75 & Y21 &:= \min(\mu_{B2}(u2), \mu_{C3}(u3), \mu_{B4}(u4)) = 0.389 \\ Y11 &:= \min(\mu_{B2}(u2), \mu_{C3}(u3)) = 0.389 \end{aligned}$$

$$D := \max(Y1, Y2, Y3, Y4, Y5, Y6, Y7, Y8, Y9, Y10, Y11, Y12, Y13, Y14, Y15, Y16, Y17, Y18, Y19, Y20, Y21) = 0.75$$

# Оцінка інформативності системи

Поляризаційна мапа	Злоякісні зміни		Всього
	Присутні (група 1)	Відсутні (група 2)	
<b>Дійсні елементи матриці Джонса плівок плазми крові</b>			
Позитивні результати	8	9	17
Негативні результати	2	1	3
Всього	10	10	20
<b>Уявні елементи матриці Джонса плівок плазми крові</b>			
Позитивні результати	8	8	16
Негативні результати	2	2	4
Всього	10	10	20

Параметри	Дійсні елементи	Уявні елементи
Чутливість $Se$ , %	80%	80%
Специфічність $Sp$ , %	90%	80%
Достовірність $Ac$ , %	85%	80%



# Висновки

У магістерській кваліфікаційній роботі вирішено актуальну задачу підвищення ефективності системи Джонс-матричного картографування плівок плазми крові для оцінювання стану молочних залоз шляхом застосування статистичного аналізу отриманих мап матриці Джонса плівок плазми крові та диференціацією патологій на їх основі за правилами нечіткої логіки.

1. Проведено аналіз методів і систем лазерної мікроскопії біологічних тканин і рідин людини для діагностування патологічних змін молочних залоз та обґрунтовано доцільність подальшого їх розвитку на основі поляризаційного Джонс-матричного картографування плівок плазми крові людини.
2. Розвинуто концепцію побудови засобів автоматизованої поляризаційної мікроскопії плівок плазми крові людини для оцінювання патологічних змін молочних залоз шляхом застосування методів Джонс-матричного картографування плазми крові людини у комплексі із наступним статистичним аналізом отриманих розподілів, що дозволило досягнути об'єктивного оцінювання онкологічних змін у молочних залозах для скринінгових (доступніших і менш травматичних) досліджень.
3. Удосконалено архітектуру та алгоритмічне забезпечення автоматизованої системи Джонс-матричного картографування плівок плазми крові людини для оцінювання патологічних змін молочних залоз за рахунок введення до архітектури блоку підтримки прийняття рішень, що дало можливість в автоматизованому режимі провести експериментальні дослідження.
4. Проведено експериментальні дослідження системи Джонс-матричного картографування плазми крові шляхом оброблення зразків плівок плазми крові представників контрольної групи зі станом «норма» молочних залоз (10 чол.) та групи «патологія» молочних залоз (10 чол.). Визначено взаємозв'язок між зазначеними станами та набором величин статистичних моментів 1-4 порядків, які характеризують розподіли дійсних та уявних елементів матриці Джонса плівок плазми крові людини. Це дозволило сформулювати інформативні ознаки для методу диференціації.
5. Вперше одержано функції належності при оцінюванні стану молочних залоз за Джонс-матричним картографуванням мазків плазми крові, що дозволило на основі застосування принципів нечіткої обробки вивести правила прийняття рішення для автоматизованого діагностичного процесу.
6. Визначено показники діагностичної ефективності системи Джонс-матричного картографування плівок плазми крові при оцінюванні стану молочних залоз: за дійсними елементами матриці Джонса чутливість, специфічність та достовірність діагностування ( $S_e = 80\%$ ,  $S_p = 90\%$ ,  $A_c = 85\%$ ) вища за аналогічні показники уявних елементів матриці Джонса ( $S_e = 80\%$ ,  $S_p = 80\%$ ,  $A_c = 80\%$ ), які також задовольняють вимогам.
7. Було проведено технологічний аудит розробленої оптоелектронної системи Джонс-матричного картографування плівок плазми крові для діагностування патологій молочних залоз. Також спрогнозовано витрати на виготовлення даної системи і розраховано термін її окупності, що складає менше одного року.

8. Проведено розрахунки з оцінки безпеки роботи системи в умовах дії іонізуючих та випромінювань та електромагнітного імпульсу дають змогу зробити висновок, що вона працюватиме безпечно в умовах дії цих уражаючих факторів надзвичайних ситуацій, якщо інтенсивності впливу іонізуючого та електромагнітного випромінювань не перевищуватимуть, відповідно,  $9 \cdot 10^3$

# За результатами проведеної наукової роботи було:

- Опубліковано 1 статтю у Міжнародному науковому журналі «Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології», який включено до міжнародної науко-метричної бази eLIBRARY (PINC);
- апробовано результати на 2 науково-практичних конференціях;
- брав участь у виконанні науково-дослідної роботи та співавторство у звіті за державною тематикою 26-Д-381 .

Дякую за увагу!