

Вінницький національний технічний університет
Факультет комп'ютерних систем і автоматики
Кафедра лазерної та оптикоелектронної техніки

**МЕТОД ТА СИСТЕМА ДВОХВИЛЬНОЇ ЛАЗЕРНОЇ
ПОЛЯРИМЕТРІЇ ПЛІВОК ПЛАЗМИ КРОВІ ПРИ
ДІАГНОСТУВАННІ ПАТОЛОГІЇ МОЛОЧНИХ ЗАЛОЗ**

Доповідач: студент групи ЛТО-17м
Локотей Д. Ю.

Керівник: к.т.н., проф. каф. ЛОТ
Заболотна Н. І.

Актуальність теми дослідження

- Стійкість в рейтингу проблем захворюваності молочних залоз та високий рівень ускладнень при цих захворюваннях обумовлюють необхідність розроблення методу та системи двохвильової лазерної поляриметрії плівок плазми крові при оцінюванні патології молочних залоз (МЗ), що спрямовані на підвищення інформативності вимірювань параметрів біологічних об'єктів та достовірності прийняття рішення за результатами цих вимірювань. Необхідність такої системи особливо стає наочною в контексті розвитку медичних засобів об'єктивної експрес-діагностики.
- Основними недоліками існуючих методів та систем поляризаційного діагностування патологічних змін МЗ на основі картографування азимутів та еліптичностей поляризації зображень плівок плазми крові є їх недостатня достовірність. Це обумовлено недостатньою кількістю аналізованих виміряних параметрів, що збільшує ризики хибної ідентифікації на зразках із непередбаченими навчальною вибіркою діагнозами та складністю оцінки повноти і суперечності постульованих нечітких правил при прийнятті рішення.

Мета роботи та задачі дослідження

- **Метою роботи** є підвищення достовірності оцінювання патологічних станів молочних залоз в автоматизованій системі поляризаційної діагностики плівок плазми крові шляхом розвитку метода та удосконалення системи діагностики при здійсненні вимірювань, аналізу та класифікації розподілів азимутів і еліптичностей поляризації плівок плазми крові на двох довжинах хвиль.

Для досягнення даної мети необхідно розв'язати наступні задачі:

- Провести аналіз оптичних методів і систем лазерної мікроскопії біологічних тканин і рідин людини для діагностування патологічних змін молочних залоз.
- Розвинути метод оцінювання патології молочних залоз на основі картографування, аналізу та класифікації азимутів і еліптичностей поляризації зразків плівок плазми крові за рахунок вимірювань на двох довжинах хвиль.
- Удосконалити архітектуру автоматизованої системи поляризаційного картографування плівок плазми крові при оцінюванні патології молочних залоз, орієнтовану на реалізацію запропонованого двохвильового метода діагностування.
- Розробити реалізацію програмно-апаратного забезпечення запропонованої системи.
- Оцінити достовірність розробленого методу двохвильової лазерної поляриметрії плівок плазми крові при оцінюванні патологічних змін молочних залоз та порівняти з аналогами.

- **Об'єкт дослідження** – процес вимірювання, аналізу та класифікації розподілів азимутів та еліптичностей поляризаційних зображень плівок плазми крові при оцінюванні патологій молочних залоз.
- **Предмет дослідження** – методи та засоби вимірювання, аналізу та класифікації розподілів азимутів та еліптичностей поляризаційних зображень плівок плазми крові при оцінюванні 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 одержаних результатів

- Удосконалено метод оцінювання патологічних змін молочних залоз на основі вимірювання та аналізу азимутів та еліптичностей поляризаційних зображень плівок плазми крові на довжині хвилі 675 нм шляхом його доповнення параметрами, отриманими при вимірюванні та аналізу на другій довжині хвилі 405 нм, що дозволило підвищити достовірність діагностування.
- Удосконалено систему лазерної поляриметрії плівок плазми крові для діагностування патології молочних залоз за рахунок введення експертної системи, яка на основі нейромережевого аналізу багатопараметричного набору вхідних даних проводить ідентифікацію стану «норма-рак» молочної залози, що дозволило підвищити достовірність діагностування.

Практичне значення одержаних результатів

- Розроблено архітектуру та алгоритмічне забезпечення автоматизованої системи двохвильового поляризаційного картографування зразків плазми крові, яка може бути використана у скринінгових дослідженнях патологій молочних залоз з метою виявлення ранньої стадії ракового захворювання.
- Розроблено базу інформативних ознак, що містить значення діапазонів статистичних моментів 1–4 порядку мап азимутів, мап еліптичностей лазерних зображень плазми крові, які відповідають фізіологічним станам «норма» та «рак» молочних залоз, що дозволило на основі застосування принципів нейромережевої обробки вивести правила прийняття рішення для автоматизованого діагностичного процесу.
- **Особистий внесок здобувача.** Всі винесені на захист результати магістерської кваліфікаційної роботи отримано магістрантом особисто. Особистий внесок здобувача у роботах, отриманих у співавторстві: отримано математичні моделі підтримки прийняття рішення при оцінюванні стану молочних залоз за поляризаційно-фазовим картографуванням мазків плазми крові на довжині хвилі 632 нм основі нейромережевого підходу [1]; та на двох дожинах хвиль [2].
- 1. Інтелектуалізована система поляризаційного картографування плівок плазми крові у діагностиці онкологічного стану молочних залоз / Н. Заболотна, Д. Локотей, Б. Олійниченко //Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології, Том 31 № 1 (2016).
- 2. Нейромережева підтримка рішень в системі двох хвильової лазерної поляриметрії плівок плазми крові при оцінюванні змін молочних залоз / Локотей Д. Ю., Заболотна Н. І. / Матеріали VIII міжнародної конференції з оптико-електронних інформаційних технологій «Фотоніка-ODS 2018»

Апробація результатів роботи. Основні положення й результати досліджень обговорювалися на конференціях:

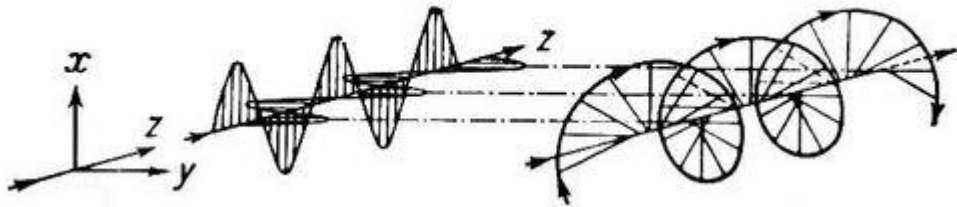
- VIII міжнародній конференції з оптико-електронних інформаційних технологій «Фотоніка-ODS 2018» (м. Вінниця, 2018);
- XLV науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області (м. Вінниця, 2016);
- XLVII науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області (м. Вінниця, 2018).

Публікації. За результатами магістерської кваліфікаційної роботи опубліковано 4 публікації, з яких 1 стаття у науковому періодичному фаховому виданні України, що входить до міжнародної науково-метричної бази, 3 тез доповідей у матеріалах конференцій:

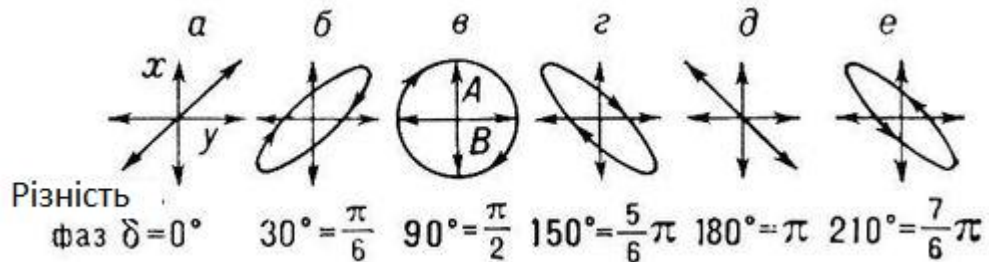
- Інтелектуалізована система поляризаційного картографування плівок плазми крові у діагностиці онкологічного стану молочних залоз / Н. Заболотна, Д. Локотей, Б. Олійниченко / Біомедичні оптико-електронні системи та прилади, Том 31 № 1 (2016).
- Нейромережева підтримка рішень в системі двох хвильової лазерної поляриметрії плівок плазми крові при оцінюванні змін молочних залоз, VIII міжнародна конференція з оптико-електронних інформаційних технологій «Фотоніка-*ODS 2018*»
- Нейромережева підтримка рішень в системах діагностування біологічних шарів за їх поляризаційним картографуванням, Матеріали XLVII Науково-технічної конференції факультету комп'ютерних систем і автоматики (2018)
- Інтелектуалізована система поляризаційного картографування плівок плазми крові у діагностиці онкологічного стану молочних залоз, Матеріали XLV Науково-технічної конференції факультету комп'ютерних систем і автоматики (2016)

Основні параметри поляризаційного випромінювання та оптична модель біологічної тканини

Поляризація світла — просторова орієнтація електричної складової частини електромагнітної хвилі.



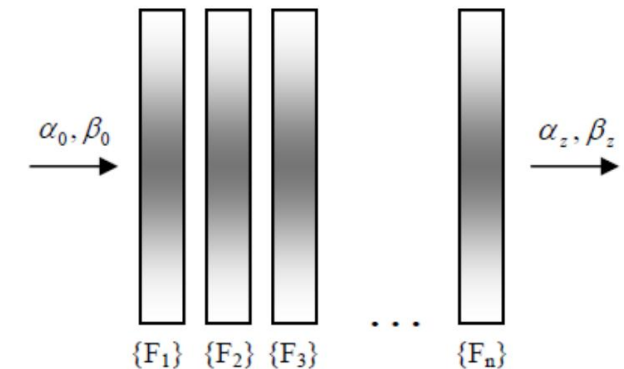
Коливання проєкцій електричного вектора E світлової хвилі на взаємно перпендикулярні осі x і y (z — напрям поширення хвилі, перпендикулярний як x , так і y)



Приклади різних поляризацій світлового променя при різних різницях фаз між взаємно перпендикулярними компонентами E_x і E_y

Азимут поляризації - кут між довільно обраною фіксованою лінією на площині, перпендикулярній напрямку розповсюдження оптичного випромінювання, і площиною поляризації випромінювання.

Еліптичність поляризації характеризується відношенням довжини малої піввісі еліпса поляризації до великої



Багат шарова оптична модель біологічної тканини

Значення азимута та еліптичності поляризаційного зображення досліджуваного об'єкта

$$\alpha_{jk} = 0,5 \operatorname{arctg} \left[\frac{I_{jk}(45^\circ) - I_{jk}(-45^\circ)}{I_{jk}(0^\circ) - I_{jk}(90^\circ)} \right].$$
$$\beta_{jk} = 0,5 \operatorname{arcsin} \left[I_{jk}(\otimes) - I_{jk}(\oplus) \right].$$

Статистичні моменти 1-го – 4-го порядків :

$$M_1 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (|\alpha; \beta|)_j; \quad M_2 = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (\alpha^2; \beta^2)_j};$$
$$M_3 = \frac{1}{M_2^3} \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (\alpha^3; \beta^3)_j; \quad M_4 = \frac{1}{M_2^4} \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (\alpha^4; \beta^4)_j,$$

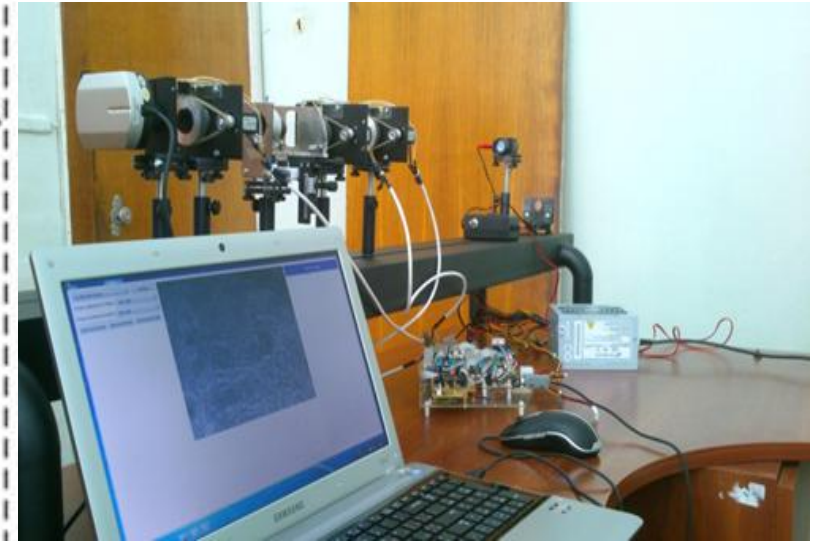
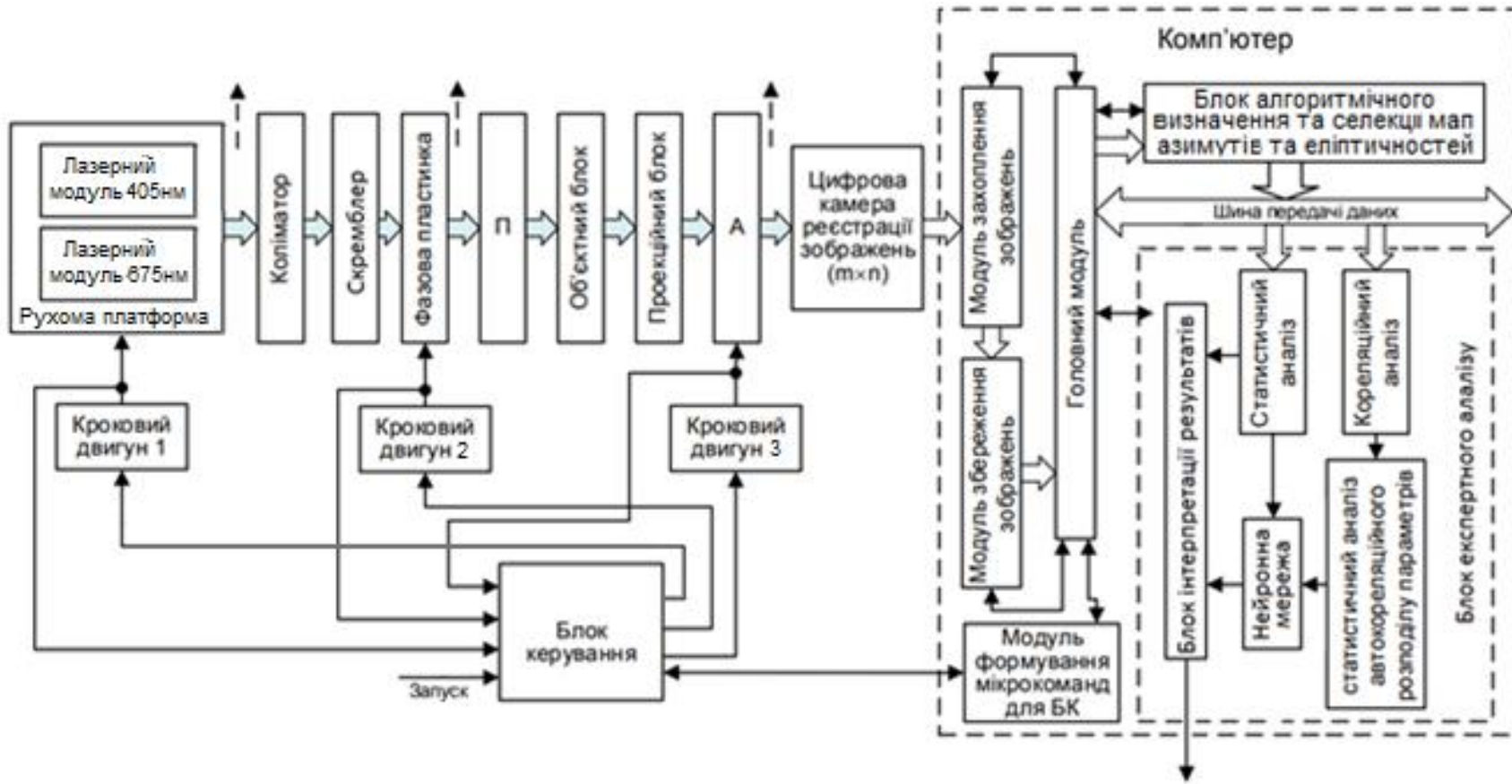
Кореляційна площа S , кореляційні моменти Q_2 і Q_4 :

$$S = \int_0^{X_0} K_{\alpha; \beta}(\Delta x) d(\Delta x),$$
$$Q_2 = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (K^2_{\alpha; \beta}(\Delta x))_j}; \quad Q_4 = \frac{1}{Q_2^2} \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (K^4_{\alpha; \beta}(\Delta x))_j;$$

Метод двохвильової лазерної поляриметрії плівок плазми крові для оцінювання патологічних станів молочних залоз

- Послідовне опромінення зразка плівки плазми крові довільно лінійно поляризованими лазерними пучками напівпровідникового лазерного випромінювача відповідно на довжині хвилі 675 нм і 405 нм ;
- Реєстрація в площині камери серії встановлених мікроскопічних поляризаційно відфільтрованих зображень, за якими алгоритмічно отримують двовимірні розподіли азимутів та еліптичностей досліджуваного об'єкту на двох довжинах хвилі;
- Аналіз статистичних характеристик координатного та автокореляційного розподілів азимутів та еліптичностей поляризаційного зображення плівки плазми крові для визначення інформативних параметрів подальшої диференціації їх змін, обумовлених патологічними станами молочних залоз;
- Алгоритмічна та нейромережева обробки результатів отриманих інформативних параметрів;
- Інтерпретація результатів алгоритмічної та нейромережевої обробки з пошуком та розрахунком відстані в просторі ознак з найближчими відомими парами «параметри-діагноз» в базі даних.

Система двохвильової лазерної поляриметрії плівок плазми крові



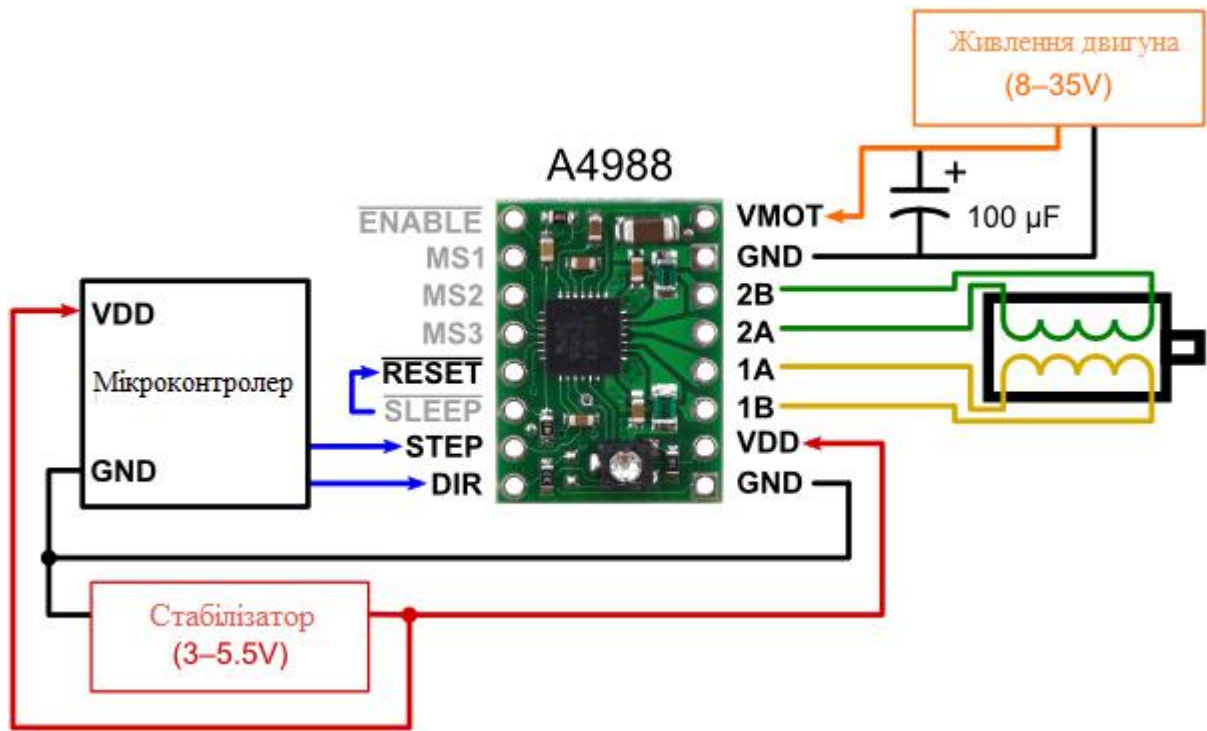
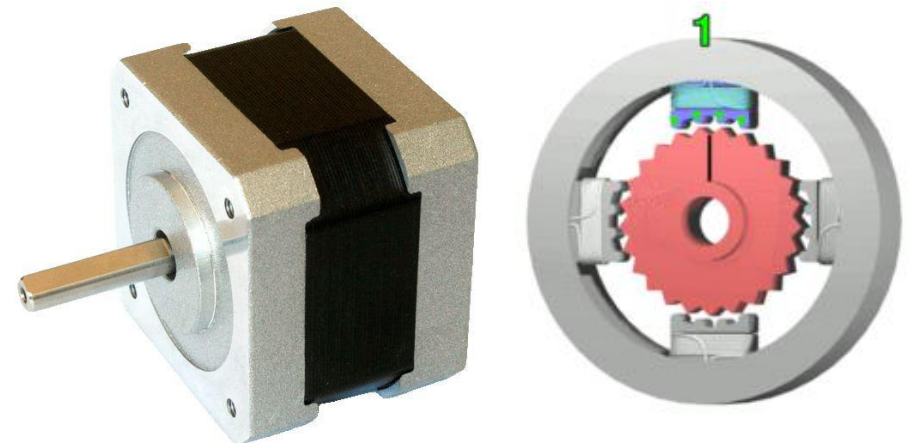


Схема підключення через драйвер A4988



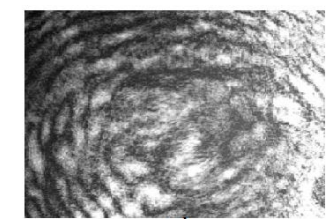
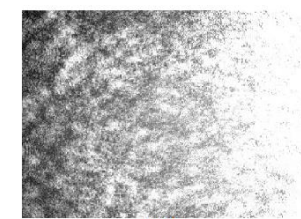
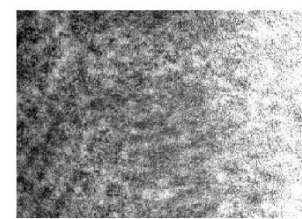
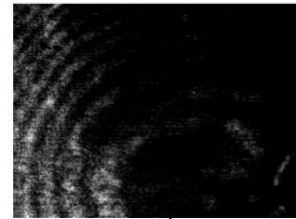
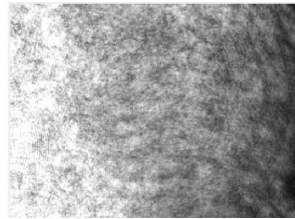
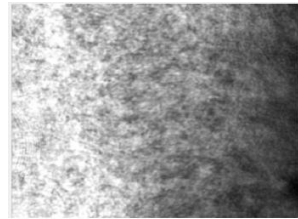
Кроковий двигун NT42STH, 2-х фазний 0.9° NEMA 17

Приклад отриманих поляризаційних зображень плівок плазми крові

на довжині хвилі 675нм

з діагнозом рак

на довжині хвилі 405нм



а)

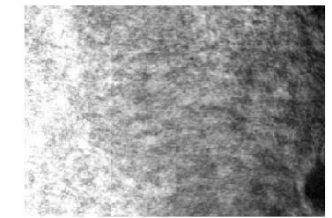
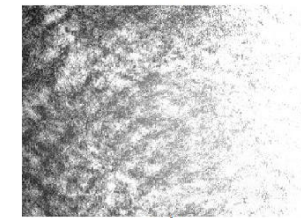
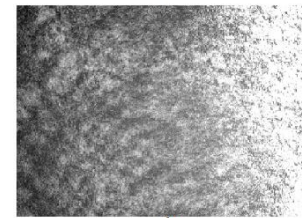
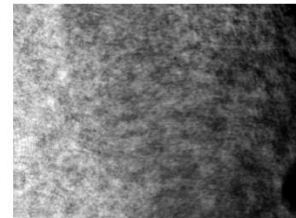
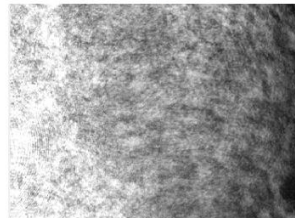
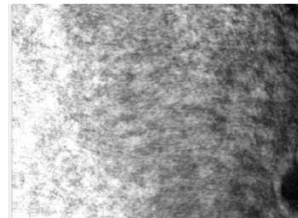
б)

в)

а)

б)

в)



г)

д)

е)

г)

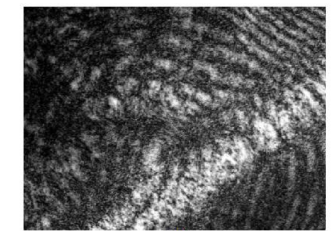
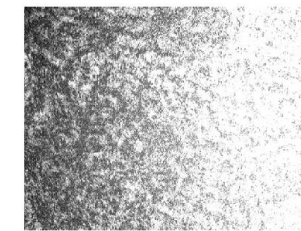
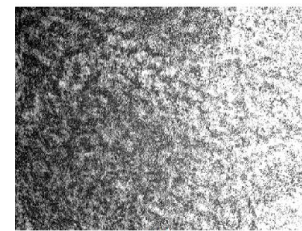
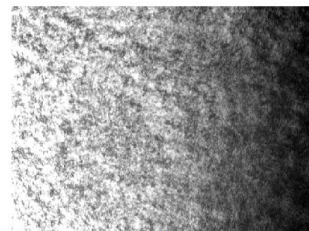
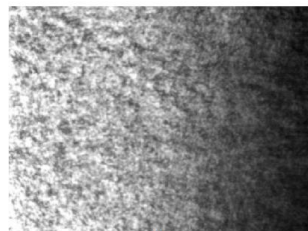
д)

е)

на довжині хвилі 675нм

з діагнозом норма

на довжині хвилі 405нм



а)

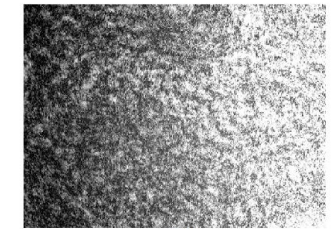
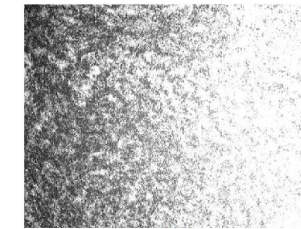
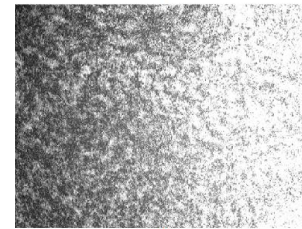
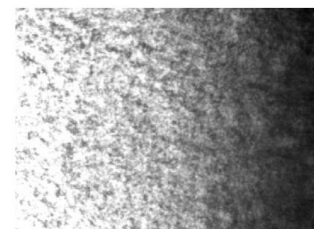
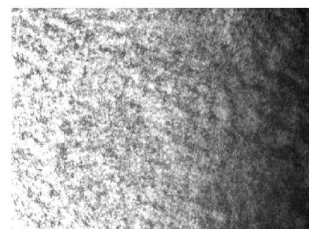
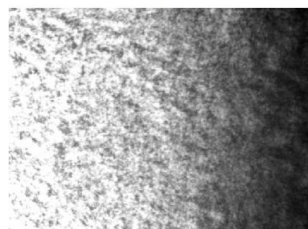
б)

в)

а)

б)

в)



г)

д)

е)

г)

д)

е)

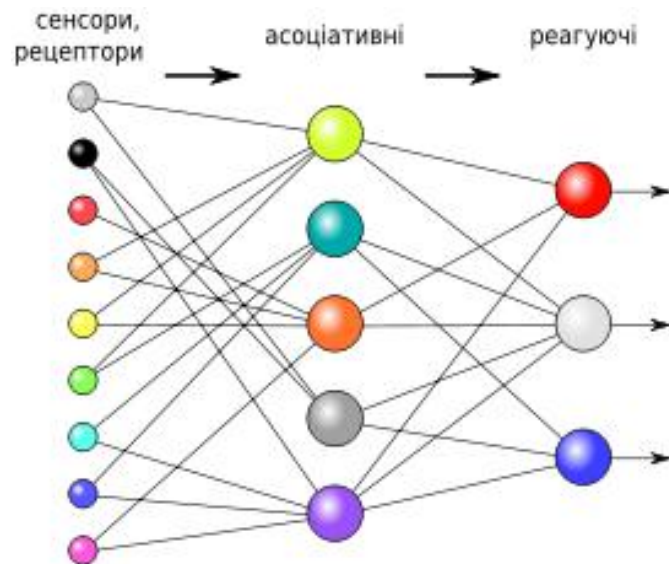
а) $I(0^\circ)$; б) $I(45^\circ)$; в) $I(90^\circ)$; г) $I(135^\circ)$; д) $I(\otimes)$; е) $I(\oplus)$

Приклад арифметичних середніх та дисперсій отриманих статистичних і кореляційних значень з вимірювань на двох довжинах хвиль азимутів та еліптичностей зразків плазми крові

	Група А - норма (20 зразків)				Група В – рак М3 (17 зразків)			
	α		β		α		β	
	405нм	675нм	405нм	675нм	405нм	675нм	405нм	675нм
M_1	$0,13 \pm 0,2$	$0,74 \pm 0,05$	$0,75 \pm 0,08$	$0,81 \pm 0,1$	$0,12 \pm 0,15$	$0,16 \pm 0,04$	$0,81 \pm 0,09$	$0,78 \pm 0,09$
M_2	$0,06 \pm 0,1$	$0,013 \pm 0,004$	$0,11 \pm 0,3$	$0,064 \pm 0,008$	$0,13 \pm 0,02$	$0,013 \pm 0,08$	$0,41 \pm 0,05$	$0,054 \pm 0,006$
M_3	$0,05 \pm 0,004$	$0,07 \pm 0,006$	$0,03 \pm 0,01$	$0,014 \pm 0,003$	$0,08 \pm 0,01$	$0,13 \pm 0,06$	$0,18 \pm 0,04$	$0,024 \pm 0,011$
M_4	$2,08 \pm 0,08$	$0,5 \pm 0,1$	$2,64 \pm 0,09$	$3,8 \pm 0,18$	$1,7 \pm 0,04$	$0,6 \pm 0,2$	$0,68 \pm 0,07$	$3,9 \pm 0,34$
S	$1,3 \pm 0,4$	$2,07 \pm 0,6$	$9,3 \pm 1,9$	$18,8 \pm 6,7$	$2,1 \pm 0,7$	$1,8 \pm 0,4$	$7,9 \pm 1,4$	$20,2 \pm 5,4$
Q_2	$0,02 \pm 0,013$	$2,3 \pm 0,9$	$5,2 \pm 1,4$	$2,9 \pm 0,13$	$0,02 \pm 0,01$	$3,2 \pm 1,3$	$5,8 \pm 1,9$	$4,1 \pm 3,6$
Q_4	$0,75 \pm 0,11$	$0,02 \pm 0,004$	$0,02 \pm 0,005$	$0,03 \pm 0,011$	$0,81 \pm 0,19$	$0,02 \pm 0,003$	$0,01 \pm 0,006$	$0,018 \pm 0,015$

Нейронна мережа для програмної ідентифікації отриманих масивів параметрів

$$T = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n w_i^{(1)} \cdot D_i + b_i^{(1)} \\ \sum_{i=1}^n w_i^{(2)} \cdot D_i + b_i^{(2)} \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^n w_i^{(m)} \cdot D_i + b_i^{(m)} \end{bmatrix}$$



Моделі нейронної мережі

Модель нейронної мережі - тип перцептрон

Метод навчання - з учителем

Навчальна вибірка складається з отриманих в ході вимірювань статистичних та кореляційних параметрів.

Вибірка цілей, являє собою вектор стовбець зі значеннями належності до відповідних груп пацієнтів

Метод налаштування ваг мережі - мінімізація середньоквадратичної помилки.

Оцінка достовірності діагностування патологій МЗ запропонованою системою

Тестування проводилося на вибірці в якій було двадцять зразків з групи здорових, тобто з відсутнім патологічним станом, та сімнадцять зразків з групи хворих на рак, тобто з присутнім патологічним станом.

Розподіл зразків за результатами тесту, зразків				Показники достовірності, %				
TP	FN	TN	FP	α	β	<u>Se</u>	<u>Sp</u>	<u>Ac</u>
16	1	19	1	5	5.8	94	95	95

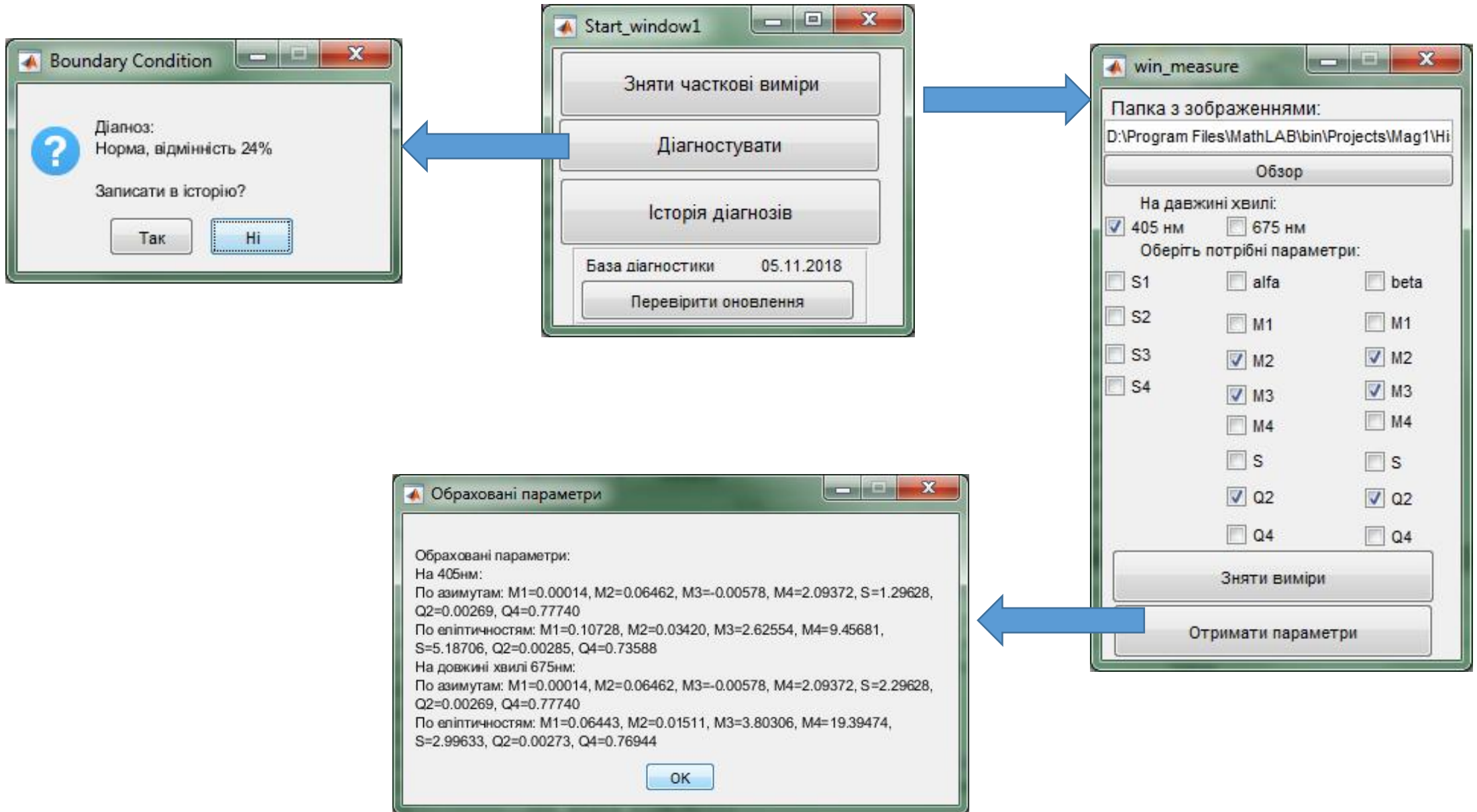
Показники достовірності диференціації станів системою двохвильової лазерної поляриметрії плівок плазми крові

Назва показника	Формула для розрахунку	Термінологічний опис
Чутливість, <u>Se</u>	$Se = TP / (TP + FN)$	Число істинно позитивних результатів / число результатів із патологією
Специфічність, <u>Sp</u>	$Sp = TN / (FP + TN)$	Число істинно негативних результатів / число результатів без патології
Ймовірність виникнення α – помилки першого роду	$\alpha = FP / (FP + TN)$	Число хибно позитивних результатів / число результатів без патології
Ймовірність виникнення β – помилки другого роду	$\beta = FN / (TP + FN)$	Число хибно негативних результатів / число результатів із патологією
Достовірність методу, <u>Ac</u>	$\frac{TP + TN}{TP + FP + TN + FN}$	Число істинно позитивних та істинно негативних результатів / число всіх результатів

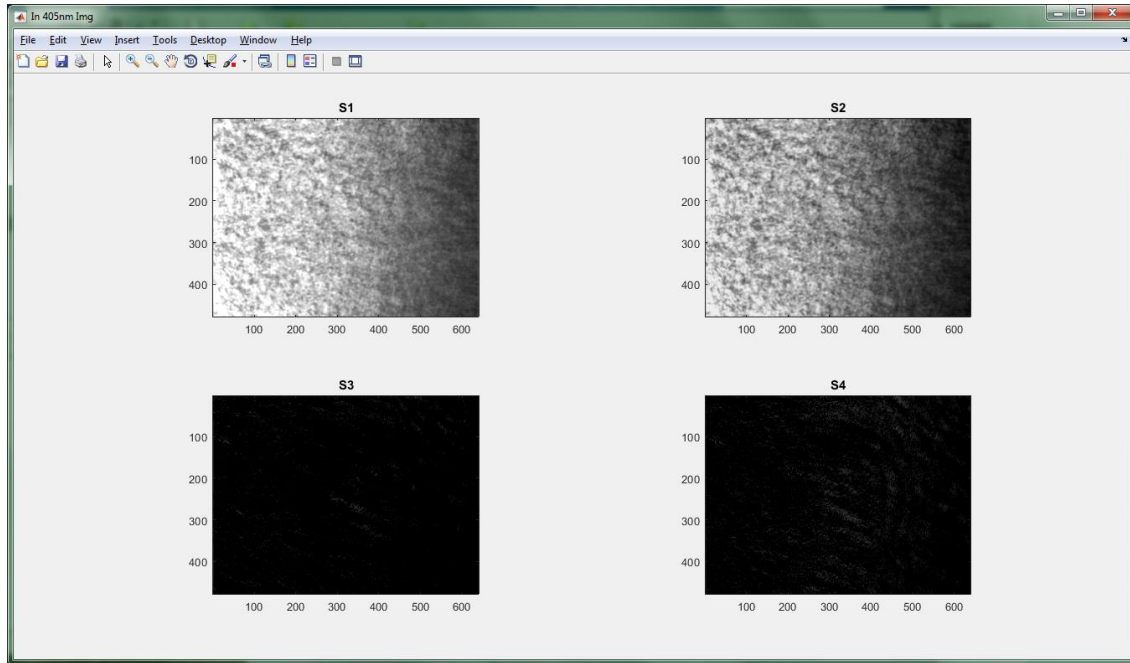
Основні показники оцінювання достовірності методів діагностування

- Результати мамографії дозволяють досягти достовірності в 77%;
- Розроблені системи комп'ютерного розпізнавання мікроскопічних зображень в середньому досягли достовірності в 83%;
- Методи дерев рішень для диференціації фіброаденоми на комбінованих матрицях Мюллера-Джонса досягають достовірність в 90,4%;
- Нові азимутально-незалежні методи стоксполяриметрії та мюллер-матричної реконструкції розподілів параметрів оптичної анізотропії з використанням просторово-частотної фільтрації проявів фазової та амплітудної анізотропії для діагностики змін орієнтаційно-фазової структури фібрилярних мереж гістологічних зрізів біологічних тканин і полікристалічних плівок біологічних рідин досягли достовірності в 94%.

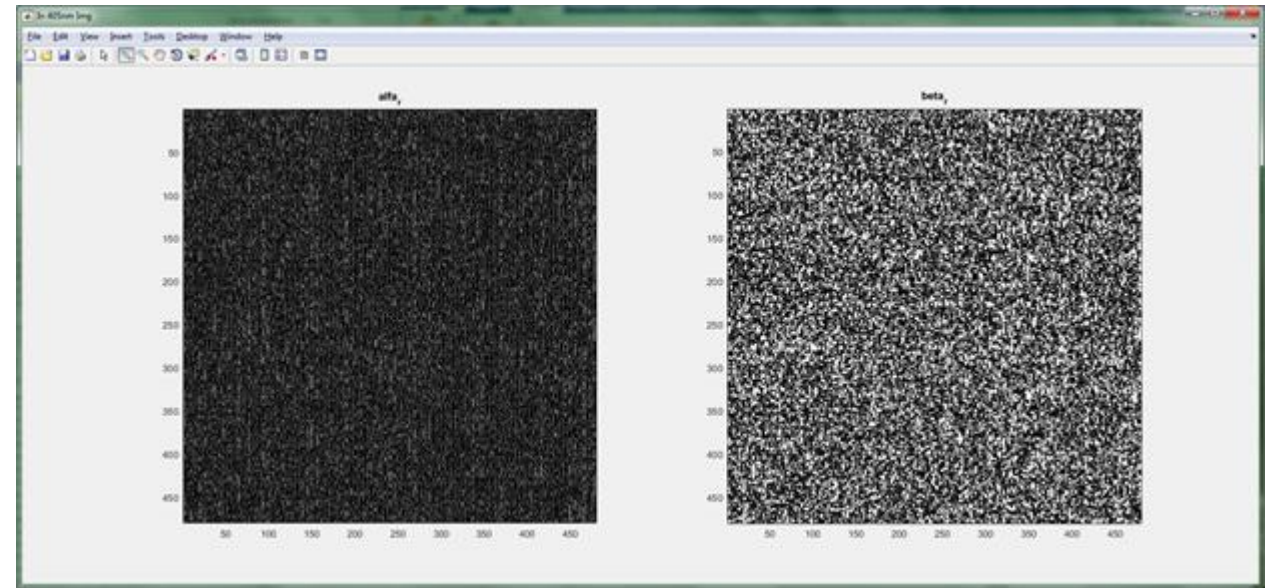
Вікна графічного інтерфейсу користувача



Вікна графічного інтерфейсу користувача



Приклад вікна виведення розрахованих розподілів векторів Стокса



Приклад вікна виведення розрахованих розподілів азимутів та еліптичностей

Перевірка на доцільність введення нової інформативної ознаки

Коефіцієнт кореляції Пірсона

$$\bar{Y} = \frac{\sum y_i}{N} \quad \bar{Y}_{yM} = \frac{\sum \bar{Y}_x n_i}{N}$$

$$\bar{X} = \frac{\sum x_i}{N} \quad \bar{X}_{yM} = \frac{\sum \bar{X}_y n_i}{N}$$

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{X})(y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{X})^2 \sum (y_i - \bar{Y})^2}}$$

Значимості коефіцієнта кореляції за Z-перетворенням Фішера

$$z = 0,5 \ln \frac{1+r}{1-r} \quad m_z = \frac{1}{\sqrt{N-3}}$$

$$t = \frac{z}{m_z} \quad v = N - 2$$

Далі визначається критичне значення t-критерію Ст'юдента $t_{5\%}$ та перевіряється чи ($t > t_{5\%}$) з чого судиться чи обчислений коефіцієнт кореляції є значимим показником зв'язку між досліджуваними ознаками на рівні ймовірності 95 %

Обчислення коефіцієнтів регресії

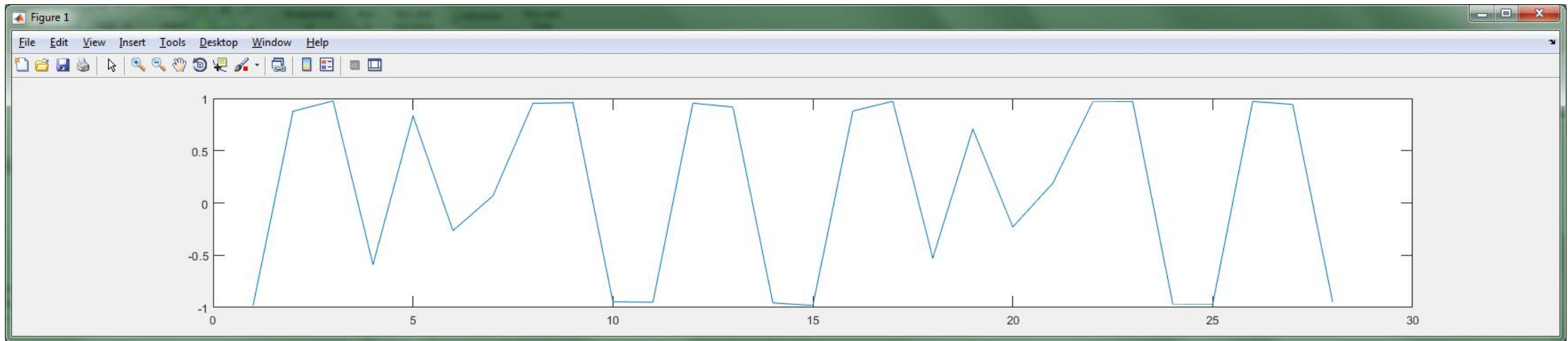
$$A = \begin{vmatrix} \sum y_i & \sum x_i \\ \sum y_i x_i & \sum x_i^2 \end{vmatrix} \quad B = \begin{vmatrix} N & \sum y_i \\ \sum x_i & \sum y_i x_i \end{vmatrix}$$

$$a = \frac{A}{D} \quad b = \frac{B}{D} \quad \tilde{y} = a + bx \quad m_{yx} = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \tilde{y}_i)^2}{v}}$$

$$t = \frac{a}{m_{yx} \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{1}{n} \left(\frac{\bar{X}}{\sigma_x}\right)^2}} \quad t = \frac{b \sigma_x \sqrt{n-1}}{m_{yx}}$$

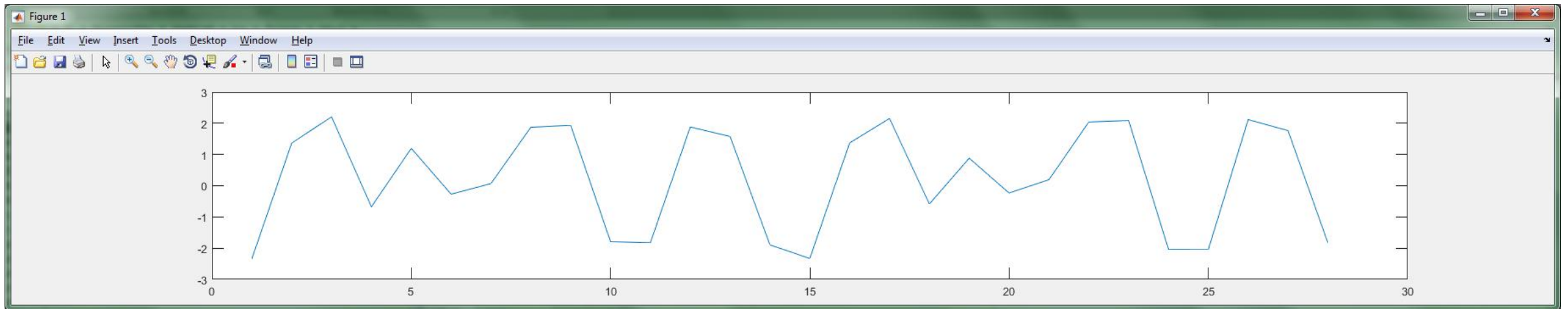
$$\bar{Y} = \frac{\sum \tilde{y}_i}{n} \quad B = \frac{\sum (\tilde{y}_i - \bar{Y})^2}{\sum (y_i - \bar{Y})^2}$$

Перевірка на доцільність введення нової інформаційної ознаки



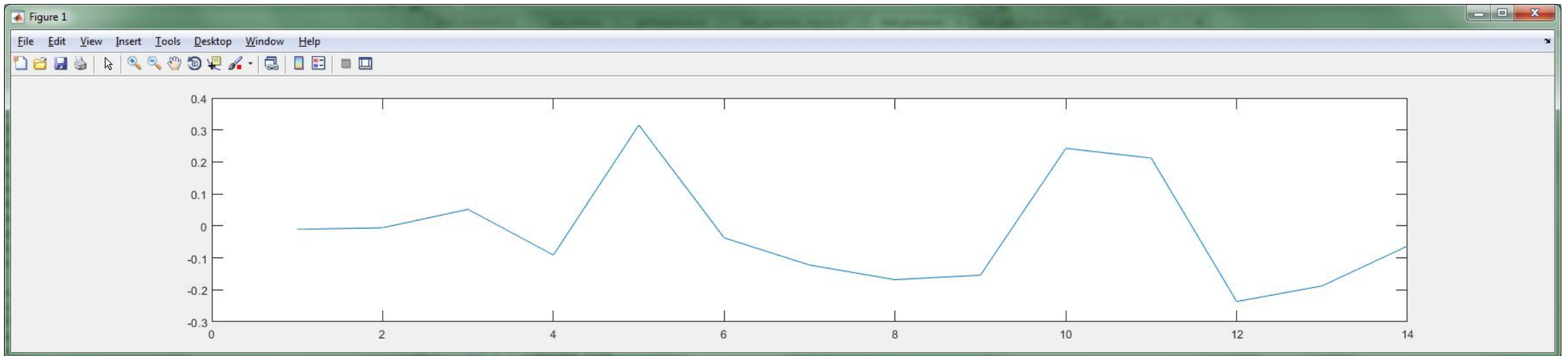
Графік обчислених коефіцієнтів Пірсона для вимірних параметрів

Перевірка на доцільність введення нової інформаційної ознаки



Графік обчислених коефіцієнтів значимості коефіцієнта кореляції за Z-перетворенням Фішера для вимірених параметрів

Перевірка на доцільність введення нової інформаційної ознаки



Графік обчисленої різниці отриманих коефіцієнтів значимості коефіцієнта кореляції за Z-перетворенням Фішера для виміряних на різних довжинах хвиль параметрів

Економічна частина

Чистий приведений дохід дорівнює 5037814 грн.

Загальні витрати на виконання та впровадження результатів НДДКР дорівнюють 57470 грн.

Відносна (щорічна) ефективність вкладених в наукову розробку інвестицій E_B :

$$E_B = \sqrt[T]{1 + \frac{E}{PV}} - 1$$

$$E_B = \sqrt[5]{1 + \frac{5095284}{57470}} - 1 = 1,457$$

Термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій складає 8 місяців.



Вісь часу з фіксацією платежу, що мають місце під час розробки та впровадження результатів НДДКР

Висновки

- У магістерській кваліфікаційній роботі вирішено актуальну задачу підвищення достовірності оцінювання патологічних станів молочних залоз в автоматизованій системі поляризаційної діагностики плівок плазми крові шляхом розвитку метода та удосконалення системи діагностики при здійсненні вимірювань, аналізу та класифікації розподілів азимутів і еліптичностей поляризації плівок плазми крові на двох довжинах хвиль з подальшим статистичним аналізом отриманих мап та диференціацією патологій на основі нейромережової логіки.

Висновки

- Проаналізовано оптичні методи і системи лазерної мікроскопії біологічних тканин і рідин людини для діагностування патологічних змін молочних залоз та обґрунтовано доцільність подальшого розвитку методів і системи діагностування патологій молочних залоз на основі поляризаційного картографування плівок плазми крові людини.
- Розроблено реалізацію програмно-апаратного забезпечення з графічним інтерфейсом користувача запропонованої системи.

Висновки

- Розвинуто метод оцінювання патології молочних залоз на основі картографування, аналізу та класифікації азимутів і еліптичностей поляризації зразків плівок плазми крові за рахунок вимірювань на двох довжинах хвиль, що дозволило підвищити достовірність діагностування та збільшило функціональні можливості для визначення оцінки процесу лікування хворого.
- Удосконалено архітектуру автоматизованої системи поляризаційного картографування плівок плазми крові при оцінюванні патології молочних залоз, орієнтовану на реалізацію запропонованого двохвильового метода діагностування, що дозволило підвищити достовірність діагностування та збільшило функціональні можливості для визначення оцінки процесу лікування хворого.

Висновки

- Проведено серію експериментальних досліджень поляризаційного картографування плівок плазми крові вибірки пацієнтів які відповідаються фізіологічним станам «норма», та «рак» молочних залоз, та знайдено взаємозв'язок між їх станом та набором величин статистичних моментів 1-4 порядків, які характеризують розподіли азимутів і еліптичностей поляризації, лазерних зображень зразків плазми крові, що дозволило сформулювати ознаки для подальшого діагностичного оцінювання патологічних процесів в молочних залозах. Встановлено, що не має цілковитого домінування значимості параметрів виміряних на одній довжині хвилі, а є чергування де тільки деякі параметри виміряні з зображень отриманих на одній довжині хвилі мають більшу значимість ніж на іншій. З чого слідує доцільність вимірювань на обох довжинах хвиль.

Висновки

- Для оцінки достовірності розробленого методу двохвильової лазерної поляриметрії плівок плазми крові при оцінюванні патологічних змін молочних залоз проведено тестування згідно медичних норм. Установлено чутливість системи на рівні 94%, специфічність системи на рівні 95%, помилки першого роду системи на рівні 5%, помилки другого роду системи на рівні 6%, достовірність системи на рівні 95%, що у середньому на 1 – 2% більше ніж у систем аналогів.
- Здійснено технологічний аудит та оцінку комерційного потенціалу розробки, спрогнозовано витрати на виконання НДДКР, розраховано показник ефективності вкладених інвестицій $E_b = 1,45$, що свідчить про значний економічний потенціал даної системи та визначено період окупності впровадження.

Дякую за увагу