

## ЛАЗЕРНА ДІАГНОСТИКА ЕНЕРГЕТИЧНИХ І ПРОСТОРОВИХ ОБРАЗІВ ДИНАМІКИ ПРОЦЕСІВ ФІЗИКО – ХІМІЧНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ

**Анотація:** Розглянуто проблему лазерного зондування неоднорідних середовищ, які формуються в процесі фізико – хімічних реакцій в технологічних і біологічних та екологічних системах.

**Abstract:** the problem of laser sensing of heterogeneous environments, which are formed in the process of physical and chemical reactions in the technological and biological and ecological systems.

**Ключові слова:** дані, потоки, реакція, інформаційні технології, екологія, біофізика, лазер.

Keywords: data flows, reaction, information technology, ecology, biophysics, laser.

**Актуальність.** Сучасна наука (біологія, хімія, фізика, енергетика) неможлива без засобів контролю і вимірювання, здавачів і сенсорів для відбору потоків даних та інформаційних систем для їх опрацювання і інтерпретації. Якщо в області електроніки ці засоби на високому рівні розроблені і використовуються в науці і технологіях, та засоби контролю фізико – хімічних і біохімічних перетворень в ході реакцій недостатньо досліджені, тим більше з використанням методу лазерного дистанційного зондування. Розроблення нових методів діагностики динаміки ходу фізико – хімічних, біохімічних реакцій необхідно для вивчення структури реакцій їх енергетичних, інформаційних характеристик є актуальними для оцінки стану екологічних систем, екології навколишнього середовища ТЕС, біохімічної діагностики в лабораторних дослідженнях [9],[10,11].

**Проблема.** Методи лазерної діагностики на сучасному етапі використовуються для вивчення динаміки процесів згорання палива, авіації, транспорт, енергетиці, які характеризуються високими енергіями взаємодії реагентів.

В біології і медицині швидкість і енергія перетворень в ході реакцій мають низький рівень і малі розміри, неоднорідності, що ускладнює їх контроль, оцінку та інтерпретацію суті цих процесів. Використання малопотужних газових і напівпровідникових лазерів суттєво розширює методи діагностики, але при цьому виникає проблема відбору даних лазерного зондування та їх інтерпретація.

**Мета.** Провести аналіз існуючих методів дослідження концентрації домішок в об'єктах та обґрунтувати метод лазерного зондування для оцінки рівня концентрації.

## Лазерна діагностика потоків і середовища

Суть лазерної діагностики в тому, що досліджуваний потік рідини, газу, повітря х домішками зондується лазерним пучком фотонів, які мають певну енергетичну і просторову структуру розподілу інтенсивності енергії.

### Обґрунтування методів лазерного зондування

Лазерний пучок фотонів характеризується сукупність параметрів: направленням  $\vec{n}$ , діаметром  $d$ , площею перерізу  $S$ , потужністю  $P_L$ , розподілом інтенсивності  $Y_z(x, y, \vec{n}, s)$ , з функцією густини потужності  $W_y(x, y/s)$ , поляризація  $\vec{p}$ , частотою  $\lambda$  і фазою  $\phi$ . Зміна цих параметрів при проходженні через середовище відображає стан об'єкта.

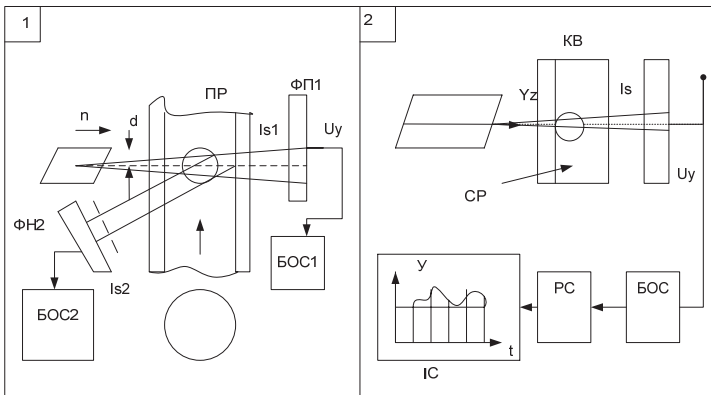


Рис.1. Схема дистанційного зондування лазером потоку газів або рідини в трубці ( 1) і рідин в кюветі (2)

У варіанті 1.1 показано схема зондування потоку (газу) по прямому і розсіяному зворотньому каналах. Сигнал лазера проходить через середовище і скляну трубку і попадає на фотоприймач ФП1 та блок обробки сигналу (БОС1), а відбитий в зоні неоднорідності на ФН2 і БОС2. У варіанті 1.2 наведена схема зондування рідинного середовища прямим проходженням лазерного променя через кювету на фотоматрицю в якій відбувається перетворення потоку фотонів в енергію електричного сигналу з напругою  $U_y$ , який подається на блок обробки (БОС) і регістратор (РС) та індикатор (ІС). На ньому відображається динаміка зміни інтенсивності  $Y_s(x, y/s)$  сигналу який переносить відомості (інформацію) про хід реагуючого процесу в кюветі, про просторову структуру неоднорідностей, які поглинають і розсіюють фотони в залежності від розміру часток і довжини хвилі фотона, тобто:

$$I_s^t(x, y, z, l, /s) = I_z(x, y, z, l / s_0) R_s^t(x, y, z / s, l)$$

де  $R_s^t( )$  - динаміка зміни коефіцієнта розсіяння середовища контролю,  $I_z( )$  - інтенсивність зондуючого сигналу,  $I_s^t( )$  - інтенсивність сигналу на виході кювети та його зміна в часі.

Відповідно коефіцієнти розсіяння виступає модулятором ( просторово - часовим) потоку лазерних фотонів.

$$R_s^t(x, y, z / s, l) = R_1(t) \bullet R_2\left(x, y, z / n \rightarrow\right) R_3(d, z)$$

де  $R_1(t)$  - зміна в часі,  $R_2( )$  - зміна напрямку (розсіяння) фотонів,  $R_3(a, z) = \exp(-dz)$  - коефіцієнт ослаблення пучка фотонів на фотоматриці визначається згідно  $U(t/I) = K_{\phi II} I_s^t(x, y, z / s) = \sum_{i=1}^n U_i(t, I_i)$  - що відображає адитивну структуру формування електричного сигналу на елементах матриці.

### Аналіз просторової структури образу лазерного зондуючого сигналу на виході кювети.

При проходженні лазерного променя через неоднорідне середовище формується ланцюг перетворень енергію потоку фотонів та формується стохастичне поле з різним рівнем розподілу інтенсивності.

$$I_z \xrightarrow{\alpha_1} I_{S1} \xrightarrow{\alpha_2} I_{S2} \xrightarrow{\alpha_3} I_{S3} \xrightarrow{\alpha_k} \dots \xrightarrow{\alpha_n} I_{Sn}$$

де  $I_z$  - інтенсивність потоку зондуючих фотонів,  $I_{Si}$  - потік фотонів напрямки зондування,  $\alpha_i$  - втрати в прямому напрямку,  $\alpha_{\zeta}$  - розсіяння,  $L_K$  - довжина кювети,  $I_{gk}$  - вихідний сигнал.

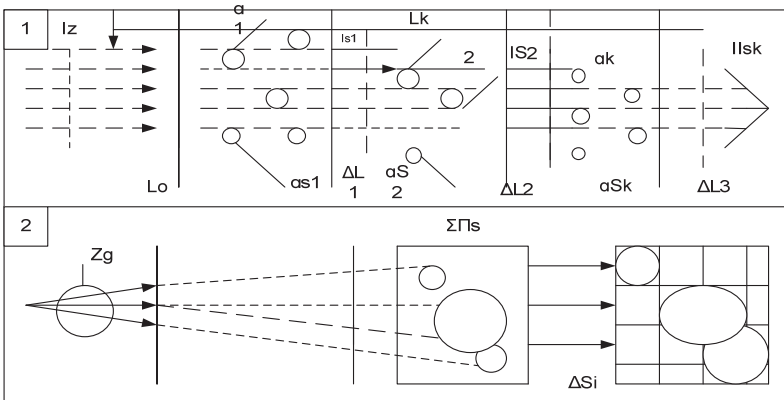


Рис.2. Схема формування образу поля концентрації на сегментованій матриці фотоприймача

Згідно наведеного аналізу представим схему формування фотонним потоком лазера (  $R^2 \times T$  ) образу об'ємного середовища кювети, в якій інтегральна просторова структура розчиненого реагента переноситься на фотоматрицю.

Відповідно відбувається перехід від об'ємної структури поле концентрації  $V_s(X_i, Y_i, Z_i)$  в електричний образ на матриці:

$$I_{Zci} \rightarrow (X_i, Y_i, Z_i / C_{ki}, \alpha_i) \xrightarrow{\Delta S_i} I_{ccon}(V_{Si}, I_{Si}) - \text{тобто, одержуємо з кожного}$$

$S_i$  - елемента електричний сигнал, як компоненти поля з стохастичною структурою.

### Метод випадкових множин як модель образу стохастичного поля

#### Випадкові множини на площині, як моделі кластерів концентрації.

В стохастичній геометрії вивчаються об'єкти, які називаються випадковими множинами на площині. Вони утримують різні геометричні структури розкидані на площині в рамках замкнених фігур, як однорідні так і їх комбінацію [2,8,10, ] на підставі якої формуються кластери.

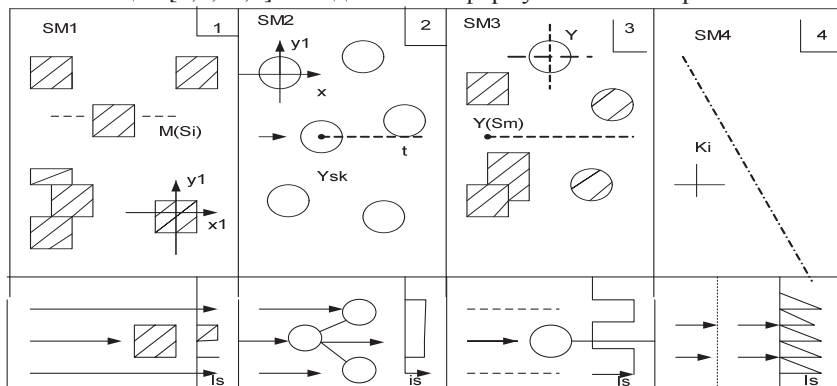


Рис.3. Схема розподілу зон концентрації як образів поля інтенсивності зі стохастичною структурою

На рис.3 наведено схеми моделей просторових структур як проєкцій зон концентрацій реагентів при лазерному зондуванні.

Відповідно маємо елементарні просторові структури:

- 2.1 - модель поля і вигляді правильних прямокутників з стохастичною структурою розподілу координат і різною площею  $(S_i(x_i, y_i))$ ;
- 2.2 - модель поля у вигляді околів згущення  $V_R(x_i, y_i)$ ;
- 2.3 - модель поля з адитивною структурою областей різної форми  $\{S_i\}_i \{ \prod S_i \}, \{ \cup S_i \}$ ;

2.4 - модель поля з точковою структурою розподілу концентрації реагентів.

### Просторові структури поля концентрації

Для оцінки просторової структури поля інтенсивності, після проходження досліджуваного середовища, як відображає властивості і його динаміку, використовуємо метод стохастичних геометрій, згідно якого одержуємо спосіб опису поля концентрації  $PC_K \left( V, \vec{r}/t \right)$  та його проєкцію у вигляді дискретного електричного поля на матриці.

Такі структури вивчали Колмогаров, Шоке [2,6,8] та інші з точки зору теорії ймовірності.

### Структура множини, як елемента поля.

Нехай задано систему всіх замкнених підмножин  $F \subset R^2$ . Позначаємо через  $F_{\xi}$  - сігма алгебра розбиття  $R^d$ , яка утримує підмножину  $F_K$  у вигляді

$$F_K = \{F_i \in f : F_i \cap K_i \neq \emptyset\}$$

де  $F_i$  - елементарна множина площею  $S_i$ ,  $K_i$  - мінімальний кластер,  $f$  - базова структура універсальної множини з мінімальним розбиття  $R_d$  на елементарні підмножини,  $F_{\xi K} \rightarrow f_K$  - носіям множини  $f_K$ .

### Означення 1.

Визначимо випадкову множину як випадковий елемент  $\theta \in \{f, f_{\sigma}\}$ , де  $\theta$

є відображення вимірне  $\theta: [\Omega, U, P] \rightarrow \left[ f, f_{\sigma} \right]$ , з розподілом виду  $F_{\sigma}$ , тоді для  $\forall A \in F_{\sigma}$  маємо функцію ймовірності.

$P(A) = P(\theta \in A) = P(\{\omega \in \Omega : \theta(\omega) \in A\})$  - на  $A$ , тобто значення його рівні ймовірності того що  $\theta(\omega)$  лежить у відповідних підмножинах  $A_i \in F$ , звідки маємо наступне:  $P(F_K) = P(\theta \cap R \neq \emptyset)$ .

Смкість з елементарних елементів випадкової замкненої множини буде визначатись на основі представлення для  $\theta$  по  $K$ :

$T_{\theta}(K) = P(\theta \cap K \neq \emptyset) - P(f_K), \forall K \in K$  при цьому виконується умови для підмножини  $K$  по параметру  $\theta$ :

1.  $T_{\theta}(\emptyset) = 0$ ;
2.  $T_{\theta}(K) \in [0,1]$ ;
3.  $(\theta \cap K_1 \neq \emptyset \dots \theta \cap K_n \neq \emptyset)$ ;
4.  $P(\theta_1 \in A_1, \theta_2 \in A_2) = P(\theta_1 \in A_1) \cdot P(\theta_2 \in A_2)$ ;
5. Стаціонарність при зсуві  $(\theta_x = \theta + x) \Rightarrow T_{\theta}(K) = T_{\theta}(K_x)$

Які визначають стохастичну структуру поля з елементарних множин.

**Статистика випадкових замкнених множин в структурі кластера.**

Статистики над структурою замкненої випадкової множини будуються точково – числовим методом, використовуючи решітку  $RH_x : (x \times x) \xrightarrow{\text{Pr}} \theta$  на підставі якого оцінюється попадання точок решітки на елементи  $\theta$  - множини з допомогою індикаторних функцій належності ( $I_\theta(X_i)$ ):

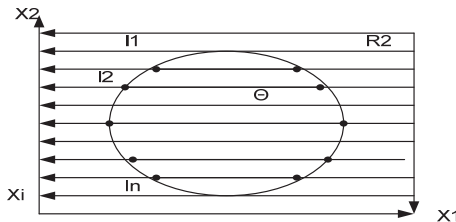
$$\hat{P} = \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n I_\theta(X_i) \right), \text{ для якої маємо оцінку незміщеності по } \{X_i\}:$$

$$E \hat{p} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E I_\theta(X_i) = \frac{1}{n} n p_i.$$

Метод прямих оцінки статистик випадкових замкнених множин ґрунтується на накладені систем паралельних прямих довжиною  $l$

( $M(L, l, n)$ ) і для них вимірюється сумарна довжина всіх  $L$  на  $\theta$   $\hat{P}_L = \frac{L}{Nl}$

$\hat{L} = \sum_{i=1}^n l_i$ , де  $l_i$  - елементарна довжина при  $((l \cap \theta) / X_i)$ .



**Побудова еталонних множин просторової структури поля**

Побудова статистик на основі еталонних площин, які проєктуються на випадкову замкнену множину, є основою структуризації кластера. Відповідно для образів проєкцій на січенню  $S_i$  визначається через сумарну площу:

$$S_i = \int_{B^2} 1_\theta(x, y) dx, dy, \text{ де } B^2 - \text{ просторова структура множини з накладеною на}$$

неї мозаїкою з індикаторною ознакою ( $1_\theta(x, y)$ )  $no\theta$ .

По побудові статистик необхідно враховувати динамічні зміни перетворень, які приводять до розмиття границь і структури кластера на  $(R_x \times R_y)$ :

- делітацію -  $(A \rightarrow A \oplus B')$  - розмивання образу з  $B = \epsilon(o, r)$  - розширенням границь;
- ерозія -  $(A \rightarrow A - B)$  - розмивання образу границь множини;

- відкриття множини  $A \rightarrow (A \otimes B) \oplus B = A_\beta$ , яке розділяє чітко підмножини;
- закриття множини  $A \rightarrow (A \oplus B) \otimes B$ ;
- схематизація структури множин на замкнені компонентні елементи.

### **Закони розподілу ймовірності елементів поля концентрації в перерізі.**

Розглянемо закони розподілу ймовірностей елементів точкового стохастичного поля для різних випадків типу стохастичної геометрії на множинах в  $R^2$ .

**Точкове поле.** Для простого типу точкового процесу, який описується у вигляді відображення множини  $\Omega$  в число точок маємо:  $U_R : [\Omega, U, P] \rightarrow [N, R]$  з функцією для ймовірності на розбиті  $\Omega$  підмножини  $A$  у вигляді  $: P(A) = P(\emptyset \in A) = P(\{\omega \in \Omega, \phi(\omega) \in A\})$ , де  $(A \in R)$  - множина точок на числовій осі  $R$ .

Для  $f$  - вимірної функції на  $A$  позначимо множину  $\emptyset = \{x_1, x_2 \dots x\}$ , де  $f(A) = \sum_{x \in \emptyset} f(x)$ , або через дельту функцію Дірака у вигляді інтегрального

представлення:  $\sum_{x \in \emptyset} f(x) = \int_A f(x)p(x)dx, p(x) = \sum_n \delta(x - x_n)$ , де  $\delta(x - x_n)$  - дельта функція Дірака для точок  $X$ .

Процедура маркування точок забезпечує чітку ідентифікацію структури випадкової множини (з маркою  $m_i$ )  $\Psi_{str} = \{(x_1, m_1) \dots (x_n, m_n)\}$ .

Міра інтенсивності маркованого випадкового поля визначається як:  $\Lambda(B \times L)_A = E_A \{\Psi(B \times L)\}$  - що визначає середнє число точок на  $A$  - тобто рівень їх концентрації.

### **Операції на точкових множинах.**

Визначимо операції на точкових множинах, які дозволяють будувати нові структуровані поля з кластерними згущення або розрідження вхідних елементів.

#### **Логіко – математичні операції на точкових множинах.**

Введемо означення операцій на плоских двомірних множинах виду:

- операція прорідження – викидання точок з цілю зміни структури простору  $\emptyset$ : тобто маємо  $\exists \sigma(x) \in [0,1], \phi: \emptyset \rightarrow \emptyset_D$ , що викидається  $(x \in \emptyset)$  з ймовірністю  $[1 - p(x)]$ ,  $x \in \emptyset$ , де  $\sigma(x)$  - правило викидання точки  $x$ ;
- операція утворення кластерів - полягає в тому що кожній точці  $x \in \emptyset$  ставиться у відповідність кластер  $KL_s(N_x)$ , а точковий процес

$\emptyset_S = \bigcup_{x \in \emptyset} KL_S(N_x)$  - визначає кластеризацію з властивістю  $\forall (x_1, x_2)$

$$P[KL_S(N_{x_1}) \cap KL_S(N_{x_2}) = \emptyset] = 1;$$

- бульова модель формування випадкової закритої множини ґрунтується на процесі  $\theta_b = \bigcup_{X \in \emptyset} (\theta_n + X_n)$ , де  $X_n$  - точки росту поля;
- плоскі стаціонарні мозаїки, як основа структуризації стохастичного поля задається у вигляді:  $(\forall P_1, P_2, P_1 \neq P_2) \Rightarrow (P_1 \cap P_2 = \emptyset) \quad \bigcup_i P_i = R \times R$ ;

де  $P_1$  - багатогранник. Якщо  $\tau_M$  - множина мозаїк, а  $Z - \sigma$  - алгебра на  $\tau_M$  породжена множинами  $\{\theta \in \tau_M : K_{\theta} \Omega \zeta \neq \emptyset\}$ , то  $\zeta$  - пробігає множину всіх відкритих обмежених підмножин з  $(R \times R)$ , а функція розподілу ймовірностей буде для точок на  $A$ : мати вид:  $P(\{(\theta + x) : \theta \in A\}) = P(A), A \in Z$ , відповідно  $P(\ )$  - описує структуру поля концентрації на  $A$ .

### Міри інваріантні до групи рухів несучої площини

Динаміка зрізів по об'єму об'єкта.

Міра множини є узагальнення поняття довжини відрізка, площі, об'єму, маси і є підставою геометричної структуризації.

Розглянемо міри геометричних об'єктів з точки зору інваріантності до руху несучої площини, як характеристики динаміки геометричної просторової структури. Тоді:

1. міра множини і її властивості  $\mu(\emptyset) = 0, \max \mu(B) = 1$  повнота,

$$\mu(F) \geq 0 \text{ - нижня межа, } \mu(F) = \sum_{K=1}^N \mu(F_K) \text{ - адитивність, де } \emptyset \text{ - пуста}$$

множина,  $B$  - повна множина.

2. міра точок на площині  $S$  задається у вигляді  $\forall (x, y) \in S$ :

$$\mu(F) = \int_R f(x, y) dx dy = \int_F dx dy.$$

3. міра множин прямих на множині  $F \subset S$  задається:

$$\mu(F) = \int_F f(p, \theta) (dp \wedge d\theta), \text{ де } (p, \theta) \text{ полярні координати на площині}$$

Spof.

4. кінематична міра конгруентних фігур в координатному базисі  $(x, y, \phi)$

задається через  $\mu(F) = \int_F f(x, y, \phi) dx \wedge dy \wedge d\phi$  при цьому група рухів



визначається як 
$$\begin{cases} x = x' \cos \alpha - y' \sin \alpha + a \\ y = x' \sin \alpha + y' \cos \alpha + b, \\ \phi = \phi' + \alpha \end{cases}$$
 а міра множини фігури  $F$

визначається у вигляді  $\mu(F) = \int_F (dx \wedge dy \wedge d\phi)$ ;  $F \neq \emptyset$  не пуста.

### Способи розгортки в системі сканування структури методом зондування

Виходячи з вище наведених положень, розглянемо схеми формування розгортки для сканування образів множин. Виходячи з ймовірності попадання точки в сектор сканера визначимо ймовірність  $P(F)$  того що точка лежить на  $F \in \emptyset$  на основі процедури оцінки міри [1-9].

$$\prod_s: P(F) = \frac{\mu(F \cap \emptyset)}{\mu(\emptyset)}, \text{ де } F_i - \text{ підмножина на } \emptyset - \text{ структурі поля.}$$

Розглянемо траєкторії сканування образів множини з виділенням інваріантних ознак, як засіб структуризації плоскої множини в просторі  $(R_x \times R_y) \subset R^2$

Відповідно на підставі проведеного аналізу будуюмо моделі типів процесу сканування.

1. сканування випадковими лініями. Міра сканованого образу відповідно

$$\text{визначається } \mu(\zeta, \zeta \prod F \neq 0) = \int_{\zeta \cap F} dp \wedge d\theta = L;$$

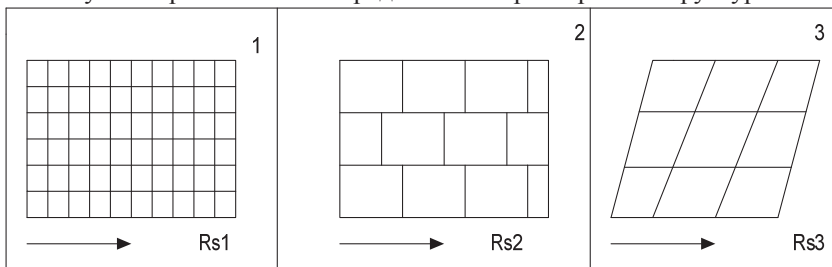
2. сканування відрізками прямої  $\mu(R, K \cap K_0 \neq \emptyset) = 2 \int_{\zeta \cap K_0} (g+l) d\zeta$  для

якої ймовірність пересічення фігури буде визначатись через

$$P_{(\emptyset)}^L = \frac{\mu_0 + \mu_1 + \mu_s}{\mu_0(\emptyset)} = \frac{2 \prod S_0 + 2lL_0}{2 \prod S_\emptyset + 2lL_\emptyset}; \text{ де } S_\emptyset - \text{ площа фігури, } L_0 - \text{ сітка}$$

сканера;

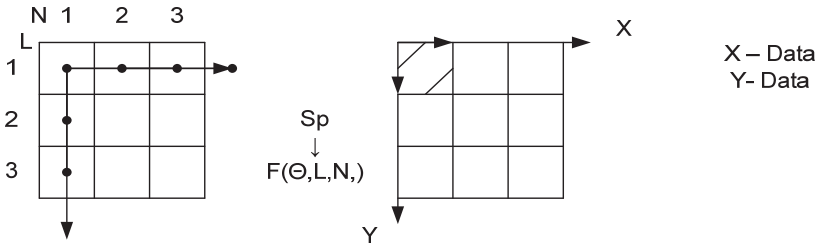
3. сканування решітками з впорядкованого просторовою структурою:



Для такої системи сканування решітка  $Rs$  задається у вигляді множини

$R_o$  - структурованої з елементів фігур, відповідно сканована множина  $K_1$  має кінематичну густину  $dK_1 = dA \wedge d\phi$  тоді інтегральна ознака представимо вигляді на розбитті  $\sigma$  - клітин  $I_R = \int_{K_o \cap K_1} f(K_o \cap K_1) dK_1 = \sum_i \int_{ai} (K_o \cap K_i) dK_i$ .

Для побудови зображень випадкових полів, що описують піксельну і просторову систем координат. Піксельна система координат використовується для цифрової обробки зображень які представляються матрицею дискретних пікселів в центрі клітини [4-7].



### Технології обробки мультимедійних та фотографічних образів

Існуючі технології обробки зображень на основі пакету прикладних програм IMAGE PROGRESSING TOOLBOX дозволяють виконувати операції по:

- визначенню типу зображень (бінарне, тонове, політра);
- опрацювання графічних файлів;
- виводити зображення на екран;
- міняти розмір вікон і масштаб;
- будувати лінії рівня;
- створювати відео послідовності;
- виконувати бінеризацію по порогу яркості;
- перетворювати в напівтонові зображення;
- виконувати фільтрацію і оконтурювання;
- конвертувати кольорову гаму;
- виконувати геометричні перетворення (розмір, повороти, зсуви);
- виконувати статичний аналіз зображень (функції, кореляції, побудови профілю, гістограми, кластирезації);
- виконувати контрастування з  $\gamma$  - корекцією не лінійності;
- фільтрація цифрової зображень (рангова, медіанна, вінерівська);
- обробляти блоки зображень та фільтрація зон уваги на зображенні;
- сегментацію зображень та морфологічні операції над бінарними зображенням;
- пошук об'єктів та обчислення інформаційних ознак;
- перетворення  $n$  - мірне фуре.

### Інтеграція методів ЦОС і стохастичної геометрії.

Тобто методи стохастичної геометрії та цифрової технології обробки зображень дають потужний інформаційний інструмент діагностики і оцінки якості образу тобто характеризуючою лазерний процес зондування. Але проблема полягає в тому, що треба мати попередньо образ досліджуваної множини у формалізованому вигляді ( цифрове представлення). Це необхідно для цифрової обробки зображень і виявлення та оцінювання параметрів, ознак і характеристик образу, як носія відображення поля концентрації одержаного середовищаобекта дослідження (рис.4). Для реалізації метода відбору даних про розподіл поля концентрації в досліджуваному об'єкті використовуємо схеми лазерного зондування згідно рис.4 (1-8).

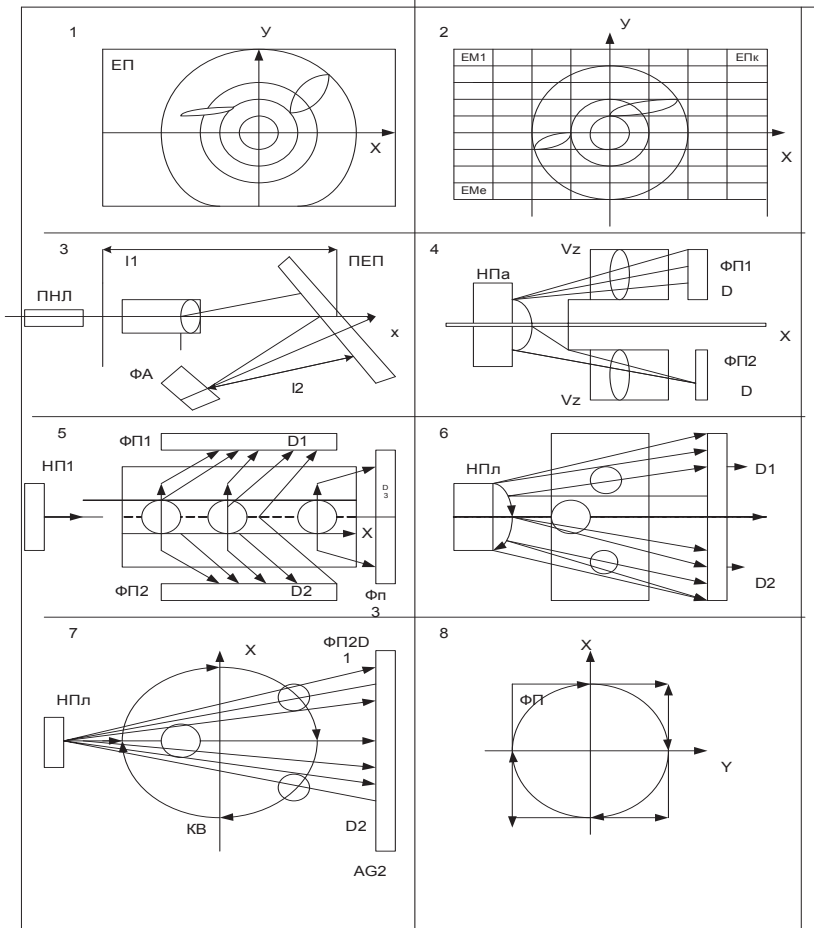


Рис.4 Схема проведена лабораторних досліджень

### **Вибір систем лазерного зондування об'єкта дослідження.**

Вибір системи лазерного зондування технологічного, біохімічного середовища в лабораторних проводиться відповідно до проведеного аналізу процесу діагностики методом лазерного зондування для лабораторних досліджень використаємо спосіб зондування рідинного середовища в кюветі для оцінки динаміки реакції (хімічної, біохімічної, екобіофізичної) на підставі енергетичної і проєкційної концепції проведення експерименту (Рис.4).

На схемах (рис.4) розглянемо різні підходи до проведення експерименту:

- 3.1 - наведено образ просторової структури, який можна одержати згідно схеми зондування (4.3);
- 3.2 - наведено образ розподілу поле інтенсивності лазерного променя одержаного згідно схеми (1-2) при зондуванні кювет різного типу при диференціальним або інтегральним методі опрацювання сигналу (4.4, 4.5, 4.6) при різних умовах дослідження динаміки зміни образу, який відображає просторову структуру функції  $R_s^t(x, y, z/l, \alpha)$  в часі.

Для реєстрації просторової структури можна використати цифровий фотоапарат або відеокамеру, а для енергетичної структури фотоматриці координатного типу з  $(n \times m)$  елементами у відповідності з концепцією опрацювання сигналів.

**Висновок.** В статті розглянуто актуальну проблему розробки лазерних діагностичних систем для дослідження динаміки просторової структури поля концентрації реагентів в ході реакції. Такі системи необхідні для проведення досліджень стану середовища екосистем, динаміки складних хімічних і біофізичних реакцій виявлення структури і особливостей матеріальних і енергетичних перетворень та для створення сенсорів.

1. *Васильев В.М.* Распознающие системы. – К. Наук. Думка, 1983-с.421.
2. *Кадець В.Л.* Курс функціонального аналізу та теорії міри. – Харків. ХНУ ім. Каразіна, 2006 – с.206
3. *Барабаш В.М.* Коллективные статистические решения при распознавания.- М. Наука. 1978.-с.340.
4. *Заяць В.М., Камінський Р.М.* Методи розпізнавання образів. – Львів.: НУ ЛП, 2004.- с.176.
5. *Шлезингер М., Главач В.* Десять лекцій по статистическому и структурному распознаванию. –К. Наук. Думка. 2004.-с.535.
6. *Колмогоров А.Н.* Теория вероятностей и математическая статистика. –М. Наука. 1986.-с.534.
7. *Луцків М.М.* Цифрові технології друкарства. –Львів.УАД. 2012.-с.488.
8. *Абрацумян Р.В.* Введение в стохастическую геометрию. – М.наука. 1989.-с.400.
9. *Ринкевич Б.С.* Лазерная диагностика потоков .- М. Знание. 1988.-с.64.
10. *Омельченко В.О.* Імовірнісні моделі випадкових сигналів та полів у прикладах і задачах// Безрук В.М., Драган Я.П., Колесніков О.О., Омельченко А.В. - к. ІСДО.1996 – с.242.
11. *Сікора Л.С.* Системологія прийняття рішень на управління в складних технологічних структурах / лазерні інформаційно – вимірвальні системи для

управління технологічними процесами. Тз – Львів. Каменярь 1998- с.453.

12. Лиса Н.К. Моделі обробки даних для експертних висновків про стан і динамічну ситуацію в технологічних системах / Н.К. Лиса, Л.С. Сікора // 36. наук. пр., Інститут проблем моделювання в енергетиці. – 2009. – Вип. 53. – С.169-177.

13. Лиса Н.К. Моделі обробки даних для експертних висновків про стан і динамічну ситуацію в технологічних системах / Н.К. Лиса, Л.С. Сікора // 36. наук. пр., Інститут проблем моделювання в енергетиці. – 2009. – Вип. 53. – С.169-177.

*Поступила 1.03.2017р.*

УДК 004.021, 004.942

Х.В. Береговська, аспірант кафедри ІТ, ПНУ ім. Василя Стефаника,  
М.В.Машевська, к.т.н., ст. викл. кафедри ІСТ, НУ “Львівська політехніка”,  
В.М.Теслюк, д.т.н., професор кафедри АСУ, НУ “Львівська політехніка”

## **РОЗРОБЛЕННЯ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМ «ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ БУДИНОК», ПОБУДОВАНИХ НА БАЗІ МОДЕЛЕЙ ПЕТРИ-МАРКОВА, ТА ДОПОВНЕНИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИМИ КОМПОНЕНТАМИ**

**Abstract.** In this article authors present developed models of Smart-House (Intelligent Buildings) systems. Main difference and peculiarity of these developed models consists in additional introduction into models, based on Petri-Markov nets, functional components (sensors and actuators), which, in fact, represent, real hardware. Thus, developed models allows to join both stochastic models with real hardware components in the most harmonious and logical way.

### **Актуальність**

На сьогодні системи класу «Інтелектуальний будинок» (ІБ) [1–10], або «Розумний дім», все ще представляють неабиякий інтерес для дослідників, науковців, розробників та проектувальників складних систем, навіть попри те, що системи ІБ беруть свій початок ще з далеких 50-х років минулого століття.

Проте, сьогоднішні системи ІБ кардинально відрізняються від своїх перших аналогів, оскільки постійно змінюються та зростають вимоги як до самих систем, так і до технологій, методів та засобів їх проектування, розробки, впровадження та експлуатації.

Так, на даний момент користувачам вже недостатньо банального віддаленого керування побутовою технікою та електричними пристроями вдома, чи економії енерговитрат на підтримання оптимальних мікрокліматичних умов всередині помешкання, натомість сучасний користувач системи ІБ бажає отримати від системи максимальний комфорт, максимальну адаптивність системи та її максимальну автономність, —