

## ЗАДАЧА ПРОСВІТЛЕННЯ ПІДКЛАДИНКИ ЗА ДОПОМОГОЮ ТРИШАРОВИХ ОПТИЧНИХ СТРУКТУР ПРИ ПАДІННІ СВІТЛА ПІД КУТОМ

© Міца О., Пецко В., Гече Ф., Коцовський В., 2016

Наведено результати розрахунків оптимальної тришарової оптичної структури для просвітлення підкладки при падінні світла під кутом. Алгоритм розрахунків оснований на використанні методу негладкої оптимізації (r-алгоритму).

**Ключові слова:** оптичне багатшарове покриття, r-алгоритм, матричний метод Абеле, закон Брюстера.

**The results of calculations of optimal three-layer structure for optical bleaching of the substrate at an angle of incidence of the light. Algorithm calculations based on the method of nonsmooth optimization (r-algorithm).**

**Key words:** optical multilayer coating, r-algorithm, Abeles matrix method, law of Brewster.

### Вступ

Інтерференційні просвітлювальні багатшарові покриття широко використовуються при створенні об'єктивів, окулярів, антиблікових покриттів та інших оптичних приладів.

Метою роботи було дослідити оптимальні параметри тришарових однорідних структур для просвітлення низькозаломлювальної підкладки, динаміку їх зміни із збільшенням спектрального інтервалу при падінні світла під кутом. Оптимізують параметри за допомогою r-алгоритму. Як підкладку вибрано найпоширенішу низькозаломлювальну підкладку з показником заломлення  $n_s = 1.51$  (скло).

### Математична модель

Для багатшарових покриттів кожна плівка характеризується показником заломлення  $n$  та геометричною товщиною  $d$ . Характеристична матриця одного шару задається у вигляді [1, 2]:

$$M_j(N_j, d_j, I) = \begin{vmatrix} \cos(d_j) & -\frac{i}{p_j} \sin(d_j) \\ -ip_j \sin(d_j) & \cos(d_j) \end{vmatrix}, \quad (1)$$

де  $d_j = d_j(N_j, d_j, I) = 2p N_j d_j \cos q_j / I$ ,  $N_j = n_j(1 + ic_j)$ ,  $i = \sqrt{-1}$ ,  $n_j, c_j, d_j, q_j, I$  – показник заломлення, показник поглинання, геометрична товщина, кут між променем, що падає на  $(j+1)$ -й шар, і нормаллю до площини розділу  $j$ -го та  $(j+1)$ -го шарів, довжина хвилі відповідно. Для зменшення світлових втрат в оптичних елементах при просвітленні їх поверхонь використовують матеріали з незначним поглинанням, тому вважатимемо, що  $c_j = 0$  і, відповідно,  $N_j = n_j$ . При цьому значення  $p_j = N_j \cos q_j$  для ТЕ-хвилі ( $s$ -поляризація) і  $p_j = N_j / \cos q_j$  для ТМ-хвилі ( $p$ -поляризація).

Характеристична матриця однорідної  $k$ -шарової структури буде такою:

$$M(\bar{n}, \bar{d}, I) = M_k(n_k, d_k, I) \cdot M_{k-1}(n_{k-1}, d_{k-1}, I) \cdots M_2(n_2, d_2, I) \cdot M_1(n_1, d_1, I), \quad (2)$$

де  $M_j$  – характеристична матриця  $j$ -го шару;  $\bar{n} = (n_1, n_2, \dots, n_{k-1}, n_k)$  – вектор значень показників заломлення;  $\bar{d} = (d_1, d_2, \dots, d_{k-1}, d_k)$  – вектор значень геометричної товщини;  $I$  – довжина хвилі.

Отже, коефіцієнт пропускання цієї  $k$ -шарової структури при заданих значеннях  $\bar{n}, \bar{d}$  та  $I$ :

$$T = 4 / (2 + \frac{P_0}{P_s} m_{11}^2 + \frac{P_s}{P_0} m_{22}^2 + p_0 p_s m_{12}^2 + \frac{1}{p_0 p_s} m_{21}^2), \quad (3)$$

де  $p_0 = N_0 \cos q_0$  і  $p_s = N_s \cos q_s$  для ТЕ-хвилі ( $s$ -поляризація);  $p_0 = N_0 / \cos q_0$  і  $p_s = N_s / \cos q_s$  для ТМ-хвилі ( $p$ -поляризація);  $q_0$  – кут, під яким промінь падає на шарувату структуру;  $q_s$  – кут, під яким промінь виходить із шаруватої структури (кут заломлення);  $N_0, N_s$  – показники заломлення зовнішнього середовища і підкладки відповідно,  $m_{11}, m_{12}, m_{21}, m_{22}$  – елементи характеристичної матриці  $M$ .

Цільовою функцією візьмемо середньоквадратичне значення показника пропускання на досліджуваному спектральному діапазоні [3, 4]:

$$\Omega(I_2, I_1) = \max_{\bar{n}, \bar{d}} F(\bar{n}, \bar{d}) = \max_{\bar{n}, \bar{d}} \left( \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L T^2(\bar{n}, \bar{d}, I_{(i)}) \right)^{1/2}, \quad (4)$$

де  $L$  – кількість точок сітки спектрального інтервалу від  $I_1$  до  $I_2$ . При рівномірному його поділі з кроком  $\Delta I$ :  $\Delta I = (I_2 - I_1) / L$ .

При дослідженні вибирали значення  $1.35 \leq n_j \leq 2.6$ ,  $50 \text{ нм} \leq d_j \leq 750 \text{ нм}$  ( $j = \overline{1, 3}$ ),  $I_1 = 200 \text{ нм}$ ,  $I_2 = 1200 \text{ нм}$ .

### Обчислювальний експеримент

Досліджувана цільова функція має багато локальних максимумів. Тому при дослідженні тришарових структур вибирали 324 початкових (нульових) наближень роботи алгоритму. Їх вибирали за такою схемою: вся область можливих значень параметрів розбивається на 324 підобласті, із яких і вибирають стартову точку алгоритму. Для пошуку оптимальних параметрів було використано г-алгоритм [5, 6]. Програмне забезпечення написано мовою програмування Delphi.

### Тришарові однорідні плівки

Шукаємо оптимальні значення функціоналу (4) для тришарової ( $k=3$ ) структури при падінні світла під різними кутами.

Спочатку розглянемо випадок, коли промінь падає перпендикулярно до шаруватої структури, тобто  $q_0 = 0^\circ$  (рис. 1, *a*). Відомо, що для тришарових покриттів, як і для двошарових, оптимальне значення показника заломлення верхнього шару для всіх спектральних діапазонів є сталим і дорівнює нижній межі для показника заломлення 1.35 [1]. Значення функціоналу  $\Omega(I_2, I_1)$  із збільшенням правої границі  $I_2$  від 400 до 600 нм спадає від 0.996328 до 0.988119, а із збільшенням правої границі  $I_2$  від 600 до 1200 нм значення функціоналу спадає повільніше від 0.988119 до 0.984155.

При куті, відмінному від  $q_0 = 0^\circ$ , промінь розкладається на ТЕ-хвилю ( $s$ -поляризація) і ТМ-хвилю ( $p$ -поляризація). Досліджувалися два випадки:  $s$ -поляризацію,  $p$ -поляризацію, відповідно пропускався  $s$ -поляризований промінь,  $p$ -поляризований промінь. Шукаємо оптимальні значення функціоналу (4) для тришарової ( $k=3$ ) структури при падінні світла під іншими кутами. З рис. 1, *б* видно, що при падінні світла під кутом  $q_0 = 30^\circ$  і збільшенні правої границі від 400 до 1200 нм функціонал  $\Omega(I_2, I_1)$  при  $s$ -поляризації спадає від 0.994465 до 0.975986, а при  $p$ -поляризації спадає від 0.997878 до 0.990719.

Розглянемо оптимальні значення функціоналу для тришарової структури при падінні світла під кутом  $q_0 = 55^\circ$  (рис. 2, *a*). Для  $s$ -поляризації функціонал із збільшенням правої границі  $I_2$  від 400 до 600 нм стрімко спадає від 0.983685 до 0.949459, а із збільшенням правої границі  $I_2$  від 600 до 1200 нм значення функціоналу спадає повільніше від 0.949459 до 0.933074. Для  $p$ -поляризації

графік функціоналу спадає повільніше, ніж для кута  $q_0 = 50^\circ$ , хоча можна простежити спадання при збільшенні правої границі  $I_2$  від 400 до 600 нм з 0.999895 до 0.999771, а при подальшому збільшенні правої границі  $I_2$  до 1200 нм функціонал дуже повільно спадає до значення 0.999746.

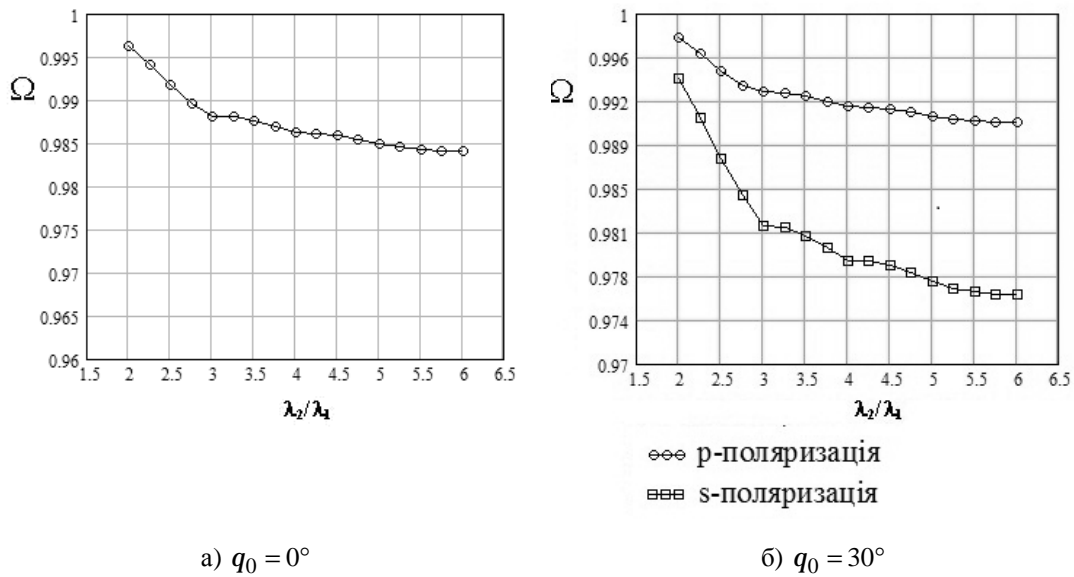


Рис. 1. Динаміка зміни функціоналу  $\Omega(I_2, I_1)$   
для тришарової структури при  $q_0 = 0^\circ$  та при  $q_0 = 30^\circ$

З рис. 2, б видно, що при падінні світла під кутом  $q_0 = 60^\circ$  для  $s$ -поляризації функціонал із збільшенням правої границі  $I_2$  від 400 до 600 нм спадає від 0.976119 до 0.932437, а із збільшенням правої границі  $I_2$  від 600 до 1200 нм значення функціоналу спадає повільніше до 0.911165. Для  $p$ -поляризації простежується спадання функціоналу із збільшенням правої границі  $I_2$  від 400 до 500 нм від 0.999456 до 0.997293, а із подальшим збільшенням правої границі  $I_2$  до 1200 нм його значення спадає до 0.996369.

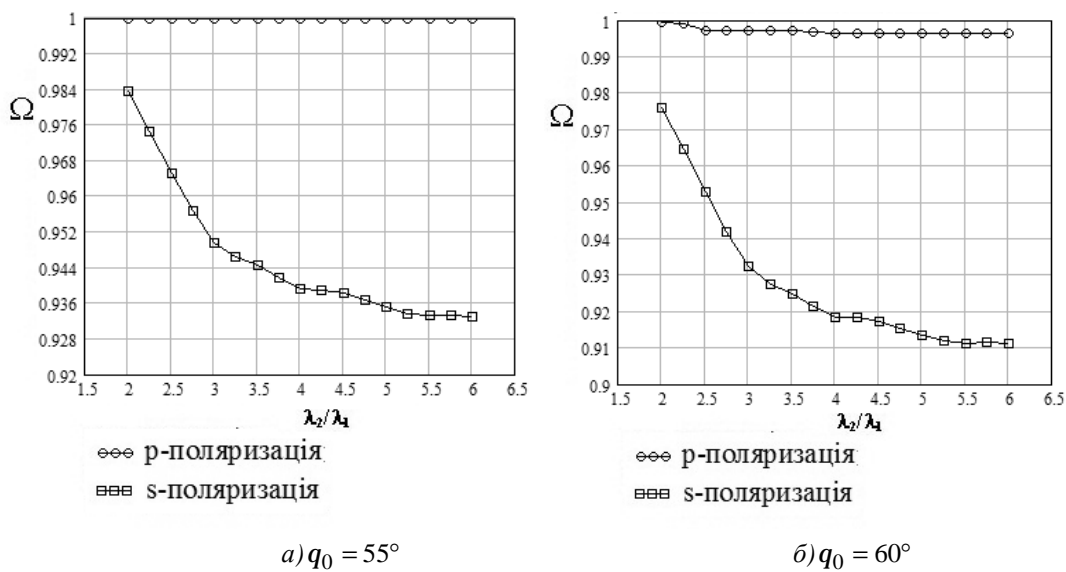
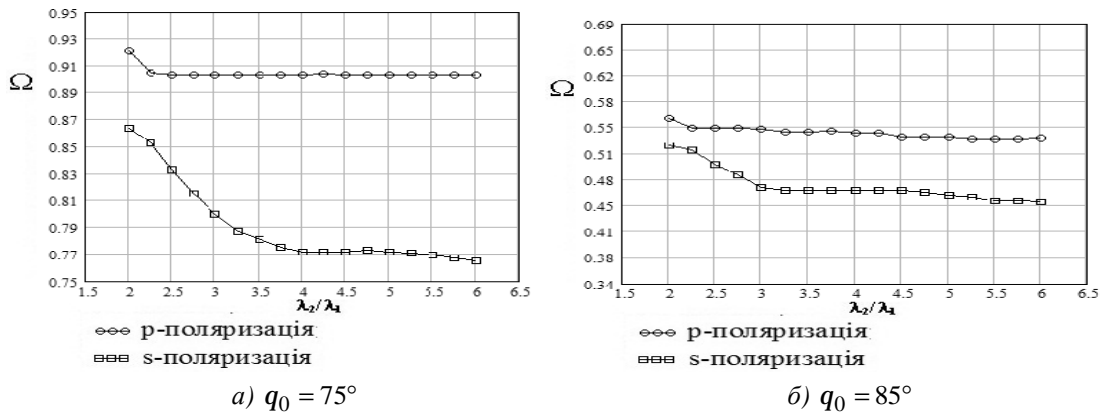


Рис. 2. Динаміка зміни функціоналу  $\Omega(I_2 / I_1)$   
для тришарової структури при  $q_0 = 55^\circ$ ,  $q_0 = 60^\circ$



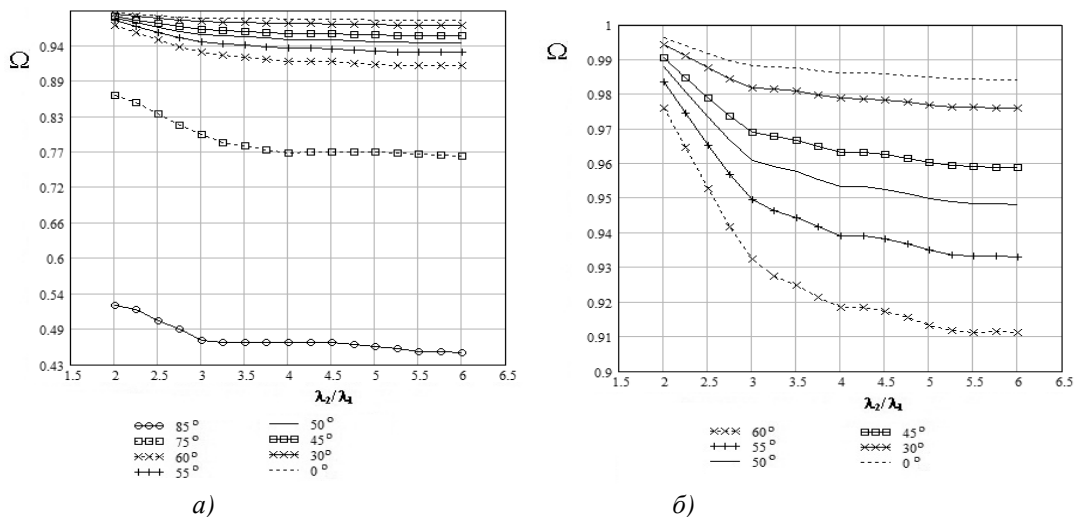
а)  $q_0 = 75^\circ$

б)  $q_0 = 85^\circ$

Рис. 3. Динаміка зміни функціоналу  $\Omega(I_2 / I_1)$  для тришарової структури при  $q_0 = 75^\circ$  та  $q_0 = 85^\circ$

При падінні світла під кутом  $q_0 = 75^\circ$  (рис. 3, а) функціонал для  $s$ -поляризації із збільшенням правої границі  $I_2$  від 400 до 800 нм спадає від 0.863755 до 0.771337, із збільшенням правої границі  $I_2$  від 800 до 1200 нм значення функціоналу повільно спадає до 0.765089. Для  $p$ -поляризації значення функціоналу із збільшенням правої границі  $I_2$  від 400 до 450 нм спадає від 0.920708 до 0.904735, а із подальшим збільшенням правої границі  $I_2$  до 1200 нм його значення дуже повільно спадає до 0.903456.

З рис. 3, б видно, що для кута  $q_0 = 85^\circ$  функціонал для  $s$ -поляризації із збільшенням правої границі  $I_2$  від 400 до 600 нм спадає від 0.526071 до 0.469449, із збільшенням правої границі  $I_2$  від 600 до 1200 нм значення функціоналу зменшується до 0.449437. Для  $p$ -поляризації можна простежити стрімке спадання функціоналу із збільшенням правої границі  $I_2$  від 400 до 450 нм від 0.562499 до 0.549696, із подальшим збільшенням правої границі  $I_2$  до 1200 нм його значення спадає до 0.535630.



а)

б)

Рис. 4. Динаміка зміни функціоналу  $\Omega(I_2, I_1)$  для тришарової однорідної структури для  $s$ -поляризації

Динаміку зміни функціоналу  $\Omega(I_2, I_1)$  для тришарової однорідної структури при  $s$ -поляризації залежно від кута падіння можна з'ясувати за рис. 4, а та 4, б. Для всіх кутів із збільшенням правої границі від 400 до 1200 нм функціонал спадає, причому із збільшенням правої

границі від 400 до 600 нм це спадання стрімкіше, ніж на іншій частині проміжку. На рисунку видно, що із збільшенням кута значення функціонала зменшується.

Із зростанням кута до  $q_0 = 55^\circ$  значення функціонала зростає, а потім зменшується. Ця закономірність пояснюється законом Брюстера [7–9]. Для  $p$ -поляризації, як і для  $s$ -поляризації, із збільшенням правої границі від 400 нм до 1200 нм функціонал спадає для всіх кутів, хоча тут менш помітні коливання цільової функції, ніж для  $s$ -поляризації, а значення функціоналу на цьому проміжку практично не змінюється. Значення функціоналу при куті  $q_0 = 55^\circ$  має менші коливання, ніж при інших кутах, при подальшому збільшенні кута значення функціоналу зменшується.

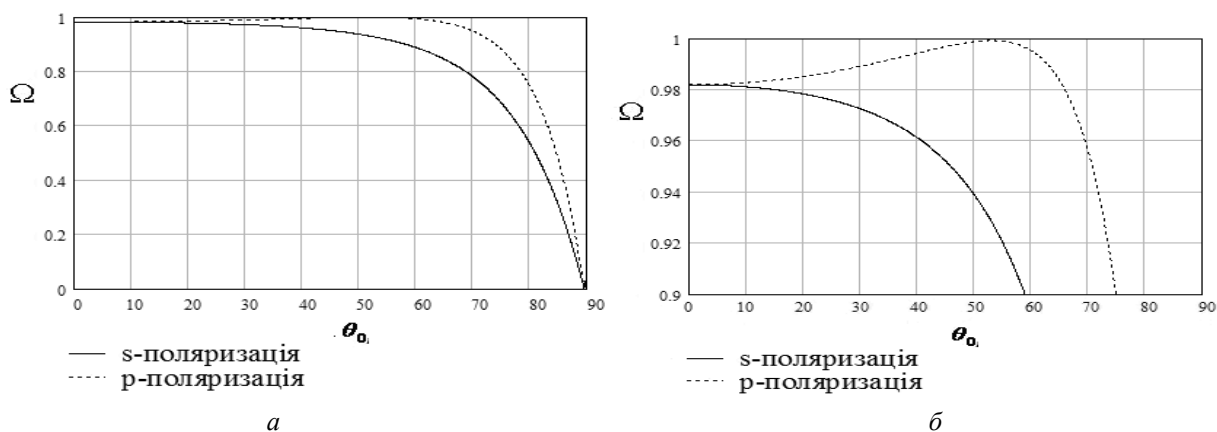


Рис. 5. Динаміка зміни функціоналу  $\Omega(I_2, I_1)$  для тришарової однорідної структури залежності від  $q_0$

Можна зазначити таку залежність цільової функції від кута падіння  $q_0$ : із збільшенням кута для  $s$ -поляризації значення цільової функції зменшується, а для  $p$ -поляризації значення цільової функції спочатку зростає, а потім зменшується (рис. 5, а, 5 б), що також пояснюється законом Брюстера [7–9].

### Висновки

Проведені розрахунки показали доволі високу ефективність розробленого на основі використання г-алгоритму програмного забезпечення вирішення завдань оптимізації багатoshарових оптичних структур. Час вирішення задачі на персональному комп'ютері середнього класу з процесором Intel(R) Core(TM) i3-3230 @ 3.30 ГГц та ОЗУ 2 ГГц становить декілька хвилин для кожного спектрального діапазону.

Отримано результати розв'язання реальних задач. Динаміка зміни функціонала для тришарової однорідної структури в залежності від кута падіння узгоджується із законом Брюстера.

1. Furman Sh.. *Basics of optics of multiplayer systems* / Sh.Furman., A. V. Tikhonravov Editions Frontiers, Gif-sur Yvette, 1992. – 242 p.
2. Abeles F. *Matrix method* / *Ann.de Physique*. – 1950. – Vol. 5. – P. 596–640.
3. Стецюк П. И. *О задачах оптимизации параметров для многослойных оптических покрытий* / П. И. Стецюк, А. В. Мица // *Кибернетика и системный анализ*. – К., 2005. – С. 107–115.
4. Мица О. В. *Задача нахождения оптимальных параметров однородного оптического покрытия* / О. В. Мица, П. И. Стецюк // *Теория оптимальных решений*. – К., 2003. – № 2. – С. 127–134.
5. Шор Н. З. *Метод минимизации, использующий операцию растяжения пространства в направлении разности двух последовательных градиентов* / Н. З. Шор, Н. Г. Журбенко // *Кибернетика*. – 1971. – № 3. – С. 51–59.
6. Шор Н. З. *Методы минимизации недифференцируемых функций и их*

приложения. – К.: Наукова думка, 1979. – 199 с. 7. Крылова Т. Н. Интерференционные покрытия. – Л.: Машиностроение, 1973. – 224 с. 8. Путилин Э. С. Оптические покрытия: учеб. пособие. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2010. – 227с. 9. Риттер Э. Плёночные диэлектрические материалы для оптических применений // Физика тонких плёнок. – М.: Мир, 1978. – Т. 8. – С. 7–27.

**Ю. Болюбаш**

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра інформаційних систем та мереж

## **МЕТОДИ ОПРАЦЮВАННЯ ВЕЛИКИХ ДАНИХ У ФЕДЕРАТИВНОМУ СХОВИЩІ ДАНИХ**

© Болюбаш Ю., 2016

Подано визначення Великих даних та описано основні характеристики. Подано моделі асоціацій між сутностями та характеристиками для різних категорій Nosql баз даних. Подано модель федеративного сховища Великих даних. Для представлення великих даних використано простір даних, який дає змогу працювати з різнотипними даними. Проте основною операцією інтеграції є не консолідація, а федералізація, що дає змогу зменшувати ємнісну складність запитів. Розроблено метод обміну різнотипними даними та приведення реляційних даних до моделі “сутність–характеристика”. Апробовано розроблені методи і алгоритми.

**Ключові слова:** Великі дані, NoSQL, інформаційна модель даних.

There is given the Big data definition and described the main characteristics. The models associations between entities and properties for the different categories Nosql databases “entity-characteristic” is constructed. For the presentation of Big data space there is used data that allows to work with heterogeneous data. However, the main operation is federalisation but no consolidation of integration, This allows capacitive reduce the complexity of requests. The method of heterogeneous data sharing and bringing to relational data model “entity-characteristic” was created. Were tested developed methods and algorithms.

**Key words:** Big data, NoSQL, data model.

### **Вступ**

Застосування систем територіального розвитку сприяє швидкому поширенню знань, навичок та найкращих практик у певних географічних межах, таких як місто, регіон, країна тощо. Для комплексного аналізу інформації на рівні регіону необхідно:

- зберігати і керувати інформацією розміром у петабайти;
- опрацьовувати інформацію з реляційних, багатовимірних баз даних, бази даних XML і NoSQL, структурованих і слабкоструктурованих текстових файлів, баз геоданих, медіафайлів тощо;
- аналізувати різнотипну інформацію, використовуючи як консолідаційний, так і федеративний підхід до її отримання.

Процес побудови узагальненої (комплексної) моделі регіону ускладнюється різноманітністю моделей даних, а також через наявність різних рівнів агрегації даних. Однією з популярних технологій для розроблення систем територіального управління є Великі дані.

### **Аналіз літературних джерел та постановка задачі дослідження**

Великі дані є терміном, який використовується для ідентифікації наборів даних, з якими не можна впоратися з використанням існуючих методологій та програмних засобів через їх великий