

С.А. Ус, М. С. Павлов

ДВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ

### ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС OBSL ДЛЯ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧІ ОПТИМАЛЬНОГО РОЗМІЩЕННЯ БАЗОВИХ СТАНЦІЙ

Представлено програмний комплекс для розв'язування задачі оптимального розміщення базових станцій на даній території. Запропонований комплекс ґрунтується на алгоритмі оптимального розбиття множин і дозволяє враховувати рельєф місцевості, густоту будівель та попит на послуги мобільного зв'язку. Розглянуто особливості програмної реалізації даного алгоритму.

Представлен программный комплекс для решения задачи оптимального размещения базовых станций мобильной связи на заданной территории. Основой предложенного комплекса является алгоритм оптимального разбиения множеств. Разработанный комплекс позволяет учитывать рельеф местности, плотность застройки и спрос на услуги мобильной связи. Рассмотрены особенности программной реализации данного алгоритма.

A program system for solving the problem of optimal base stations placement of mobile network on a given territory are proposed. The proposed algorithm is based on the optimal set partition method. The developed system allows to take into account the terrain, building density and the demand for mobile services. The features of software implementation of the algorithm were considered.

**Ключові слова:** стільниковий зв'язок, проектування мережі бездротового зв'язку, оптимальне кульове покриття.

**Вступ.** Наразі стільниковий зв'язок – популярне та поширене явище нашого життя, тому задачі підвищення ефективності мереж стільникового зв'язку та їх оптимального проектування залишаються важливими. Чисельні публікації присвячено розробці нових методів і алгоритмів розв'язування таких задач [2 – 6]. Основою використаних у них методів є математичні моделі дискретної оптимізації, зокрема дискретні задачі розміщення, розв'язування яких проводиться із використанням Лагранжевих евристик та генетичних алгоритмів різного типу [4-6]. Особливістю запропонованої у даній роботі програмної реалізації є

використання математичних моделей змішаного типу, які дозволяють враховувати неперервний розподіл клієнтів. Алгоритми розв'язування таких задач мають високу обчислювальну складність тому ефективна програмна реалізація таких алгоритмів також являє собою актуальне завдання.

**Постановка задачі.** У роботах [11,12] запропоновано математичні моделі змішаного (дискретно-неперервного) типу та алгоритми, засновані на методі оптимального розбиття множин, для розв'язування задачі оптимального розміщення базових станцій (БС) стільникового зв'язку на даній території. Сформулюємо деякі з них.

Задача 1. Нехай множина  $J = \{1, \dots, m\}$  задає перелік можливих пунктів розміщення БС. У кожному з пунктів  $j \in J$  можна встановити БС і величина  $b_j \geq 0$  ( $j = 1, 2, \dots, m$ ) задає її потужність – максимальну кількість абонентів, яких вона водночас може обслуговувати. Маємо множину користувачів мобільного зв'язку, нерівномірно розподілених в області  $\Omega$ , а також дані про попит на послуги у кожній точці  $x$  області  $\Omega$ . Задача полягає у визначенні підмножини  $S \subseteq J, S \neq \emptyset$  із  $N$  БС, які встановлюють, й розбитті множини споживачів  $\Omega$  на зони обслуговування  $\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_m$  кожною зі станцій таким чином, щоб задовольнити попит усіх споживачів і обмеження за потужністю й забезпечити мінімальне згасання радіосигналу.

Нехай

$$s_j = \begin{cases} 1, & \text{якщо в } j\text{-му пункті встановлюють БС,} \\ 0 & \text{в інших випадках.} \end{cases} \quad (1)$$

Тоді задача може бути записана у такому вигляді:

$$\max_{x \in \Omega} \min_{\tau \in S} PL(x, \tau) \rightarrow \min_{S \subseteq J} \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^m s_j = N, \quad (3)$$

$$\bigcup_{j=1}^N \Omega_j = \Omega, \quad (4)$$

$$mes(\Omega_i \cap \Omega_j) = 0, i \neq j, \quad (5)$$

$$\int_{\Omega_j} \rho(x) dx \leq b_j, j = \overline{1, N}. \quad (6)$$

де  $PL$  – згасання радіосигналу БС (втрати) у дБ в точці  $x$ , обчислене за моделлю Окамура-Хаті,

$$PL(x, \tau) = 69,55 + 26,16 \lg f - 13,82 \lg h_1^j - a(h_2^x) + (44,9 - 6,55 \lg h_1^j) \lg d(x, \tau) + S, \quad (7)$$

$$\text{де } d(x, \tau) = \sqrt{(\tau_1 - x_1)^2 + (\tau_2 - x_2)^2}, \quad (8)$$

$$a(h_2^x) = (1,1 \lg f_{mh} - 0,7) h_2^x - (1,56 \lg f_{mh} - 0,8), \quad (9)$$

$$S = 30 - 25 \lg B_l, \text{ де } 0 < B_l < 51\%.$$

Ця задача є аналог неперервної задачі про оптимальне покриття. Для її розв'язування застосовують алгоритм, який базується на алгоритмі оптимального розбиття множин з [7].

Задача 2.

Нехай множина  $J = \{1, \dots, m\}$  задає перелік можливих пунктів розміщення БС для забезпечення покриття стільникової мережі. У кожному з пунктів  $j \in J$  можна встановити базову станцію и величина  $b_j \geq 0$  ( $j = 1, 2, \dots, m$ ) задає її потужність – максимальну кількість абонентів, яких вона водночас може обслуговувати. Маємо множину користувачів мобільного зв'язку нерівномірно розподілених в області  $\Omega$ , а також дані про попит на послуги у кожній точці  $x$  області  $\Omega$ . Задача полягає у визначенні кількості  $N$  БС, які встановлюють, й розбитті множини споживачів  $\Omega$  на зони обслуговування  $\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_m$  кожною зі станцій таким чином, щоб задовольнити попит усіх споживачів і обмеження за потужністю, й забезпечити заданий рівень радіосигналу в кожній точці множини  $\Omega$ .

Математична модель цієї задачі з урахуванням введених вище позначень має такий вигляд:

$$\sum_{j=1}^m s_j \rightarrow \min, \quad (10)$$

$$\max_{x \in \Omega} \min_{\tau \in S} PL(x, \tau) \leq P, \quad (11)$$

$$\bigcup_{j=1}^m \Omega_j = \Omega, \quad (12)$$

$$mes(\Omega_i \cap \Omega_j) = 0, i \neq j, \quad (13)$$

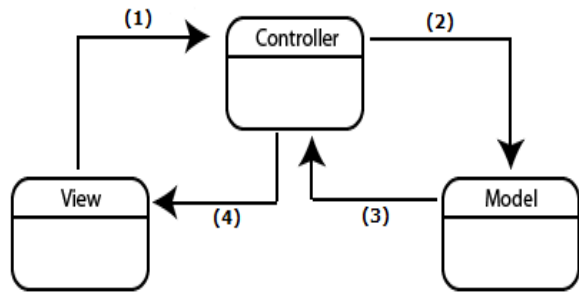
$$\int_{\Omega_j} \rho(x) dx \leq b_j, j = \overline{1, m}. \quad (11)$$

де  $PL$  – згасання радіосигналу БС (втрати) у дБ в точці  $x$ .

Мета даної роботи полягає у створенні програмного комплексу для реалізації запропонованих в роботах [11, 12] алгоритмів, який забезпечує зручне користування і можливість вводу вихідних даних, включаючи карту місцевості й інформацію про необхідні припущення для розрахунку, наприклад густоту забудови території та вимог щодо якості зв'язку.

**Метод розв'язання.** В даному програмному комплексі для розв'язування задачі розміщення використано алгоритми, сформульовані у роботі [12]. Вони є результатом комбінування методів дискретної та неперервної оптимізації, зокрема основою для розв'язування задачі оптимального покриття є метод оптимального розбиття множин [7]. Дослідження його застосування до таких задач проведено у статтях [7 – 10]. Критерієм оптимальності є рівень втрат корисного сигналу під час передачі, обчислюваний за моделлю Окамура-Хаті (як в наведених вище моделях), що дає можливість враховувати рельєф місцевості. Обчислення проводили за формулами, запропонованими у [1–2], відповідно до математичних моделей [11, 12]. Крім того можливо також застосування інших критеріїв.

**Особливості програмної реалізації.** Структурно програму можна поділити на три основні модулі, мовою Java – це пакети. Перший називається “Model” (Модель). Він містить компоненти, які виконують всі основні функції, необхідні для розв'язування поставленої задачі, а саме: реалізують алгоритми оптимального розбиття множин, оптимального розміщення БС стільникового зв'язку, алгоритм локальних околиць та інші підмодулі. Другий модуль – “View” (вид). В ньому реалізовано лише графічний інтерфейс, необхідний для зручного користування програмою. Третій модуль – “Controller” (Контролер). Якщо перші два модулі можна вважати пасивними, то Controller – це активний модуль. Він реалізує взаємодію інтерфейсу та моделі: необхідні вхідні дані, які користувач ввів в інтерфейсі, зчитуються, обробляються та передаються у модель для проведення розрахунків; після цього отримані дані передаються в інтерфейс для того, щоб користувач міг їх побачити. Такий підхід в програмуванні називають MVC (Model-View-Controller). Його застосовують для відділення логіки програми від її графічного інтерфейсу. Таким чином, можна змінювати кожний компонент незалежно від іншого і це робить програму дуже гнучкою. Схематично взаємодію модулів показано на рис. 1.



**Рис. 1. Схема взаємодії модулів:** 1 - дії користувача; 2- розрахунки, на основі даних користувача; 3 - результати розрахунків; 4 - повідомлення користувача про результати обчислень.

У табл. 1. Подано компонентний склад модулів. Опишемо їх докладніше.

Таблиця 1

**Компоненти модулів**

Пакет	Компоненти
Model	OptimalPartition OptimalPlacement Metric EuclideanMetric ManhattanMetric MinkowskiMetric Point Subset ColorGenerator Surface Bitmap
View	MainWindow MapEditor ControlPanel DrawPanel ScalePanel StatusBar TowerCreationPanel
Controller	MainController

Спочатку опишемо модуль, який реалізує алгоритм оптимального розбиття множин. Він являє собою ядро усього пакета Model. Визначимо базові компоненти, якими оперує цей модуль. Найбільш простий, але дуже важливий – клас Point (точка). В ньому три поля:  $x$ ,  $y$ ,  $z$ . і деякі методи. Наприклад, метод “equals()” для порівняння двох точок. Метод перевизначає стандартний метод equals() класу Object. Цей клас дотримується патерну “Незмінний об’єкт”, що дуже зручно в багатопотоковому середовищі. Це означає, що об’єкт неможливо змінити після його створення.

Наступний компонент – інтерфейс Metric (метрика). В ньому лише один метод, який має бути математичним виразом. Він схожий на шаблон, за яким можна реалізовувати конкретні класи метрики. Наприклад, клас EuclidianMetric, що є евклідова метрика.

Нарешті останній компонент – клас Subset (підмножина). Масив підмножин є результатом роботи даного алгоритму. Клас Subset містить: центр (Point), масив точок (Point), цієї підмножини, інформацію стосовно цієї підмножини (найбільша та найменша відстань, кількість точок).

Вхідними даними алгоритму є множина точок та центри. І множина і центри є масивами об’єктів Point. Суть алгоритму – визначити для кожної точки множини до якого центру відстань буде меншою. Якщо в один момент часу з’ясувати це питання тільки для однієї точки, то такий підхід ефективний лише для вхідної множини невеликого розміру. Це означає, що при розмірі множини в декілька мільйонів точок, час розрахунку буде дуже великим. Крім того, він суттєво залежить від складності функції метрики. Тому для підвищення ефективності було вирішено організувати пул потоків.

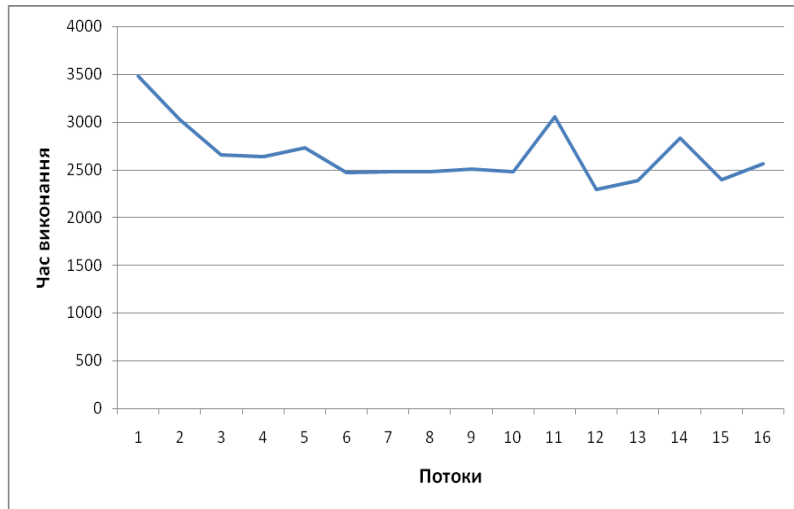
Потік – це послідовність команд мови програмування, які виконуються. Якщо потоків декілька, команди в потоках виконуються паралельно. Пул потоків – це фіксована множина потоків, до яких передаються команди для паралельного виконання. У випадку нашої програми, це означає, що питання щодо належності точки до підмножини буде вирішуватися водночас для декількох точок. Головний цикл буде ділити вхідну множину на порції точок та передавати кожну порцію в окремий потік. Таким чином маємо два параметри, які впливають на швидкість розрахунків – кількість потоків та розмір буфера. Найбільш вдала комбінація цих параметрів залежить від конкретної архітектури ПК, де буде застосовано програму. Залежність часу виконання програми від кількості потоків подано у табл. 2. Результати показано для таких вхідних даних: кількість точок у множині – 4000000; кількість центрів – 5; розмір

буфера – 16384 точок. Рис. 2 відтворює графічну інтерпретацію цієї залежності.

Таблиця 2

**Залежність часу виконання від кількості потоків**

Кількість потоків	Час виконання (мсек)	Кількість потоків	Час виконання (мсек)
1	3486	9	2512
2	3027	10	2478
3	2653	11	3056
4	2643	12	2294
5	2728	13	2388
6	2467	14	2830
7	2477	15	2392
8	2484	16	2562



**Рис. 2. Графік залежності часу виконання(мсек) від кількості потоків.**

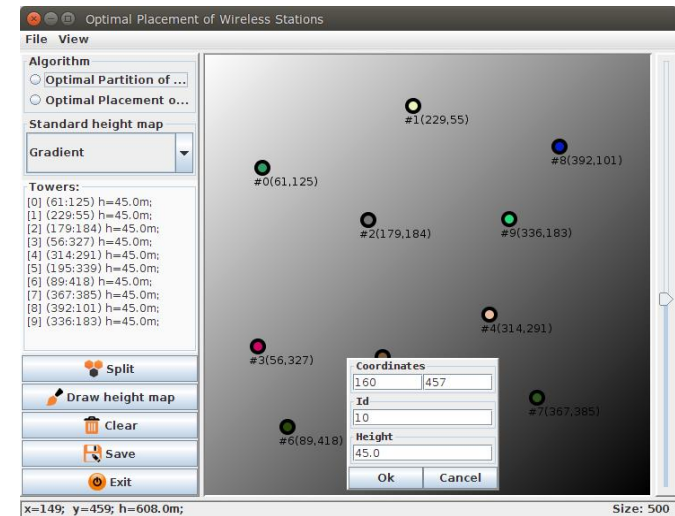
Інші алгоритми реалізовані без суттєвих змін і мають лінійну структуру. Для побудови 3D моделі у програмі була використана бібліотека SurfacePlotter - <https://code.google.com/p/surfaceplotter/>.

Зауважимо, що додаткові можливості розробленого програмного комплексу забезпечують зручне та комфортне користування ним:

- створення карти висот за допомогою вбудованого графічного редактора;
- створення карти висот за допомогою стандартних функцій;
- зчитування карти висот із зображення форматів: jpg, png, gif, bmp;
- побудова 3D моделі карти висот;
- збереження карти покриття у вигляді зображення або текстового файлу.

**Інструкція користувачу.** Для початку роботи необхідно запустити виконавчий файл програми OBSL. Програма написана мовою програмування Java, тому для її роботи на комп'ютері повинен бути встановлений Java Development Kit 7 (JDK7), який можна знайти на сайті компанії Oracle – [www.oracle.com](http://www.oracle.com). JDK7 випущений під [GNU General Public License](http://www.gnu.org/licenses/gpl.html) і розповсюджується безкоштовно.

Далі потрібно задати карту висот. За замовчуванням вона генерується за допомогою однієї з стандартних функцій, список можна побачити у меню «Standart height map» (див. рис. 3). Також це можна зробити у графічному редакторі (File/Map editor) або загрузити із файлу (File/Load map).



**Рис. 3. Карта висот і можливі точки розміщення станцій**

Після цього необхідно задати хоча б одне можливе місце для розміщення базової станції. Це можна зробити звичайним кліком, вказавши у діалоговому вікні (рис. 3) необхідні параметри.

Для початку розрахунків варто скористатися меню File/Split або кнопкою «Split» на панелі у лівій частині. Результати розрахунків можна зберегти у графічний (File/Save image) або у текстовий (File/Save data) файл.

Зауважимо, що розмір вхідної множини (карти покриття) та кількість станцій обмежені лише технічними параметрами ПК, на якому буде виконуватися програма.

**Приклад роботи програми.** Розглянемо приклад роботи програми за таких вихідних даних: розмір карти – 500x500; кількість можливих точок розміщення станцій – 10. Вхідну карту висот у вигляді 3D-моделі показано на рис. 4. Необхідно визначити кількість станцій мобільного зв'язку і координати їх розташування для того щоб забезпечити максимальний рівень сигналу.

Результати роботи програми показано на рис. 5. Обрано 5 місць для розміщення БС (квадрати). Подальше збільшення кількості станцій (до кількості заданих місць) не зумовить зміну рівня сигналу. Максимально можливий рівень сигналу –100,7 dBm.

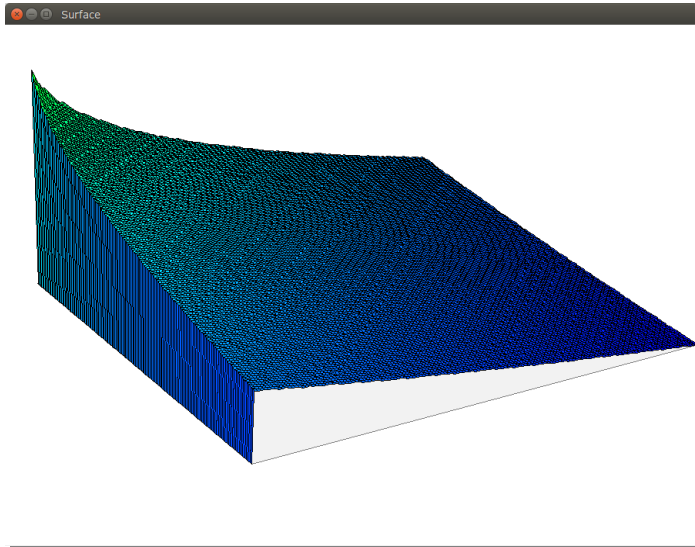


Рис. 4. 3D-модель карти висот

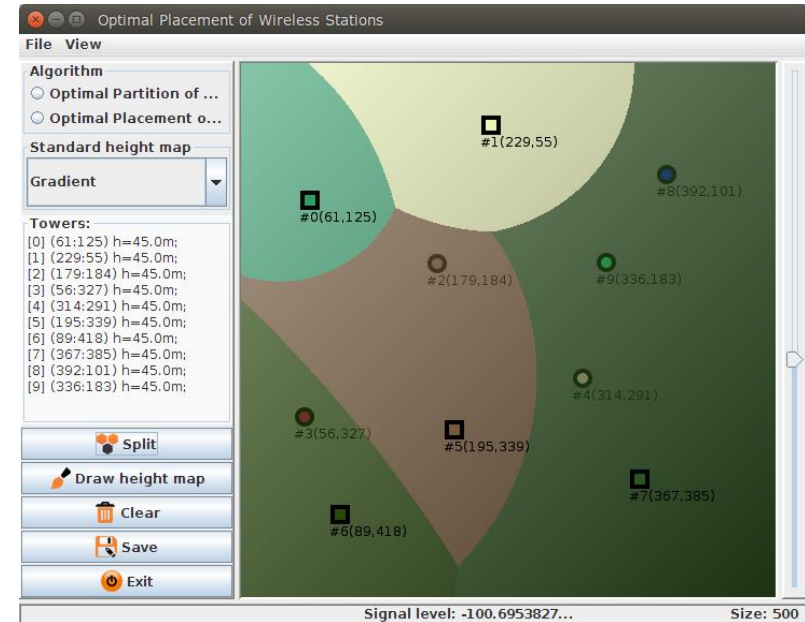


Рис. 5. Карта покриття

**Висновки.** Розроблено програмний комплекс, який реалізує змішану модель оптимального розміщення БС мобільного зв'язку. У програмному комплексі реалізовано алгоритми, особливістю яких є можливість врахування факторів, пов'язаних зі специфікою прикладних задач, а саме: рельєфом місцевості, густотою забудови, густотою населення на території, яку обслуговують, обмеженнями на сумарну потужність БС, різноманітних критеріїв оптимального розбиття.

#### Бібліографічні посилання

1. **Махмудов, М.** Повышение потребительских качеств услуг телекоммуникаций на примере сотовой подвижной радиосвязи. [Текст] // infoCOM.UZ. – 2005 – №5. – С. 27 – 30.
2. **Вишневский, В.М.** Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. [Текст] / В.М.Вишневский. – М.: Техносфера, 2003. – С. 512.
3. **Пиявский, С.А.** Об оптимизации сетей. [Текст] / С.А. Пиявский // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. – 1968. – №1. – С. 68 – 80.
4. **Галенко, С.В.** Оптимальное расположение базовых станций при проектировании беспроводных сетей [Текст] / С.В. Галенко // Труды XLV научной конференции МФТИ. 2002.

5. **Галенко С.В.** Использование гибридных алгоритмов для решения задач оптимального расположения базовых станций при проектировании беспроводных сетей передачи данных. //Институт проблем передачи информации РАН  
<http://www.masters.donntu.edu.ua/2007/kita/bukiy/library/13.htm>
6. **Береснев А.В.** Алгоритм локализации абонентской нагрузки в пространстве и времени в сотовых системах подвижной радиосвязи стандарта GSM [Текст]/ А.В. Береснев //Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. Журнал радиоэлектроники,. 2002, № 11.
7. **Киселева, Е.М.** Модели и методы решения непрерывных задач оптимального разбиения множеств [Текст] /Е.М. Киселева, Л.С. Коряшкина. – К.: Наук. думка, 2013. – 606 с.
8. **Киселева, Е.М.** Теория непрерывных задач оптимального разбиения множеств как универсальный математический аппарат построения диаграммы Вороного и ее обобщений. Часть 1. Теоретические основы. [Текст] / /Е.М. Киселева, Л.С.Коряшкина // Кибернетика и системный анализ. – 2015. – Т. 51.– № 3. – С. 3 – 15.
9. **Киселева, Е. М.** Конструктивные алгоритмы решения непрерывных задач многократного покрытия [Текст] / / Е.М. Киселева, Л.С. Коряшкина, А. А. Михалева // Системные технологии, – 2014. – Т. 93.– № 4. – С. 3 16.
10. **Киселева, Е.М.** Теория непрерывных задач оптимального разбиения множеств как универсальный математический аппарат построения диаграммы Вороного и ее обобщений. Часть 2. Алгоритмы построения диаграмм Вороного на основе теории оптимального разбиения множеств [Текст] / Е.М. Киселева, Л.С. Коряшкина // Кибернетика и системный анализ. – 2015. – Т. 51. – № 4. – С. 3 – 14 с.
11. **Ус С. А.** Решение задачи оптимального размещения базовых станций при проектировании сетей беспроводной связи / С. А. Ус, Е. А. Горячко // Питання прикладної математики і математичного моделювання: зб. наук. праць. – Дніпропетровськ : ДНУ, 2009. – С. 359 – 363.
12. **Us, S. A.** Application of the optimal set partitioning method to problem of wireless network engineering [Text] / S. A. Us // Energy Efficiency Improvement of Geotechnical Systems - International Forum on Energy Efficiency. – CRC Press/ Balkema - Taylor & Francis Group. – 2013. – P. 175–181.

*Надійшла до редколегії 15.05.15*