

УДК 332.3:528.4

## ЛАЗЕРНО-ЛОКАЦІЙНИЙ МЕТОД КАДАСТРОВОГО ЗОНУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

О. Ткачик

Національний університет “Львівська політехніка”

**Ключові слова:** лінії електропередачі, магнітна індукція, геодезичне забезпечення, лазерне сканування, точність планового знімання.

### Постановка проблеми

Однією зі складових кадастрового зонування електричних мереж є визначення місцезнаходження обмежень щодо використання земель. Цей процес передбачає обґрунтування методики знімання, забезпечення необхідної точності визначення основних характеристик обмеженої території та можливості відображення їх на картографічних матеріалах.

### Зв'язок із важливими науковими і практичними завданнями

Геодезичне забезпечення є невід'ємною складовою процесу кадастрового зонування земель у зоні впливу електричних мереж. Необхідно передбачити можливість застосування того чи іншого геодезичного методу знімання та вимоги щодо точності визначення меж обмежених територій на місцевості.

### Аналіз останніх досліджень та публікацій, які стосуються вирішення цієї проблеми

У Земельному кодексі України [1] зазначено, що однією зі складових кадастрового зонування є встановлення місцезнаходження обмежень щодо використання земель. Законом України “Про землі енергетики та правовий режим спеціальних зон енергетичних об'єктів” [2] для електричних мереж передбачено встановлення охоронних і санітарно-захисних зон, які визначаються від крайніх проводів ліній електропередач за умови невідхилення їх положення. ДБН В.2.5-16-99 [3] регулює розміри земельних ділянок, призначених для об'єктів електричних мереж. Однак сьогодні залишається актуальним питання геодезичного забезпечення кадастрового зонування електричних мереж. В журналі “Електроинфо” [8] описано сучасний метод знімання ліній електропередачі лазерно-локаційним методом, проте він потребує великих капіталовкладень і не задовольняє вимог точності щодо побудови планів та карт дрібнішого масштабу.

### Невирішені частини загальної проблеми

Актуальним сьогодні є питання геодезичного забезпечення санітарно-захисних та охоронних зон вздовж повітряних ліній електропередач з урахуванням вимог щодо точності визначення їхніх меж.

### Постановка завдання проблеми

Основне завдання – проаналізувати геодезичні методи знімання для визначення на місцевості охоронних та санітарно-захисних зон вздовж ліній електропередачі та визначити основні критерії їхньої точності.

### Виклад основного матеріалу проблеми

Електрична мережа – це сукупність електроустановок для передавання та розподілу електричної енергії [5].

Найвагомішим елементом електричних мереж з погляду кадастру є лінії електропередачі (ЛЕП), оскільки щодо них передбачено встановлення охоронних та санітарно-захисних зон, котрі є безпосереднім елементом кадастрового зонування [1, 2].

ЛЕП поділяються на кабельні (підземні) і повітряні. Кабельні лінії переважно прокладають на забудованих територіях. По повітряних лініях (ПЛ), як правило, передається струм високої напруги на значні відстані.

Визначення охоронних та санітарно-захисних зон ЛЕП тісно пов'язано з електричним та магнітним полями, що створюються навколо них. Необхідно визначати габарити наближення проводів: вертикальний – допустима найкоротша відстань між найнижчою точкою натягнутого проводу (за максимальної стріли прогину) і поверхнею землі або споруди, розташованої під лінією, і горизонтальної – найкоротша відстань до предметів на місцевості. Наприклад, для ліній напругою 220–500 кВТ допустима величина вертикального габариту дорівнює у ненаселеній місцевості 7–8 м, у важкодоступній місцевості 6–7 м. Для ліній напругою 750 кВТ відповідно приймають 12 й 10 м. Від цих значень залежить область поширення електричного та магнітного полів, а, відповідно, і зон обмеженого використання.

Як свідчать дослідження, просторове поширення магнітного поля є значно більшим, ніж електричного. Загальна формула визначення території обмеженого використання з урахуванням магнітної індукції має вигляд:

$$d = a + c \ln B, \quad (1)$$

де  $d$  – відстань від крайніх проводів, м;  $a$ ,  $c$  – емпіричні коефіцієнти, які залежать від напруги ЛЕП;  $B$  – значення магнітної індукції, мкТ.

Загальна ширина зони обмеженого використання матиме вигляд:

$$D = 2d + S, \quad (2)$$

де  $D$  – загальна ширина зони обмеженого використання, м;  $d$  – відстань від крайніх проводів, м;  $S$  – відстань між проводами, м.

З формули (1), продиференціювавши, можна визначити точність визначення відстані залежно від точності визначення магнітної індукції:

$$m_d^2 = c^2/B^2 m_B^2, \quad (3)$$

де  $m_d$  – точність визначення відстані, м;  $m_B$  – точність визначення магнітної індукції.

Беручи до уваги, що:

$$d = \sqrt{(X_1 - X_0)^2 + (Y_1 - Y_0)^2}, \quad (4)$$

де  $X_1$ ,  $Y_1$  – координати меж зони обмеженого використання, м;  $X_0$ ,  $Y_0$  – координати крайніх проводів ЛЕП, м.

Формула для знаходження середньої квадратичної похибки, згідно з [4], для функції (4) матиме загальний вигляд:

$$m_d^2 = (d'_{x1}) m_{x1}^2 + (d'_{x0}) m_{x0}^2 + (d'_{y1}) m_{y1}^2 + (d'_{y0}) m_{y0}^2, \quad (5)$$

де  $d'_{xi}$ ,  $d'_{yi}$  – часткові похідні від функції (4) за змінними (координатами пункту  $i$ );  $m_{xi}$ ,  $m_{yi}$  – точність визначення координат пункту  $i$ , м.

Якщо

$$m_{x1} = m_{x0} = m_{y1} = m_{y0} = m_{x,y}, \quad (6)$$

де  $m_{x,y}$  – точність визначення координат зони обмеженого використання, м,

отримуємо:

$$m_d^2 = 2 m_{x,y}^2. \quad (7)$$

Прирівнявши праві частини формул (3) та (7), маємо:

$$m_{x,y}^2 = c^2 / (2B^2) m_B^2. \quad (8)$$

У таблиці наведено розрахункові значення точності визначення меж санітарно-захисних зон для ліній електропередач різної напруги. Під час розрахунків прийнято  $B = 1$  мкТ (граничнодопустиме значення),  $m_B = 0,1$  мкТ (точність приладу) та попередньо визначені значення емпіричних коефіцієнтів  $c$  для ЛЕП напругою 110, 220 та 380 кВ відповідно  $c_{110} = 23,6$ ;  $c_{220} = 20,0$ ;  $c_{380} = 19,8$ .

**Точність визначення координат санітарно-захисних зон ліній електропередачі**

№	Напруга ЛЕП, кВ	Середня квадратична помилка визначення координат зони, м
1	110	1,67
2	220	1,41
3	380	1,40

Для того, що досягти вказаної точності визначення координат санітарно-захисних зон ліній електропередачі, можна використовувати як наземні, так і повітряні геодезичні методи та засоби знімання.

На практиці визначенню охоронних та санітарно-захисних зон ЛЕП передують знімання електричних мереж, що слугує базою даних для подальшого кадастрового зонування. На відміну від інших трас, лінія електропередачі складається тільки із прямих ділянок, без кривих, з поворотом у вершинах кутів. Кути повороту не повинні перевищувати 15...20° і розташовують їх у місцях, зручних для спорудження опор, тобто геологічно стійких і розташованих вдалі від ярів, які зростають. Для знімання повітряних ліній доволі ефективним є безпідметний спосіб трасування. У цьому випадку можна застосовувати віддалеміри для визначення відстаней до характерних точок траси, що закріплюються.

Сучасні програмні продукти значно спрощують процес побудови поздовжнього профілю ЛЕП, а отже, і санітарно-захисних зон. Один із найпоширеніших – CREDO\_LIN. За його допомогою можна здійснювати обробку визначених санітарно-захисних та охоронних зон та експорт у файли відкритого обмінного формату для подальшого опрацювання [7].

Проектування та винесення в натуру охоронних та санітарно-захисних зон можна виконувати на основі

опрацювання наявних чи отриманих у процесі знімання планових матеріалів. Розміри геометричних елементів обмежених зон повинні бути узгодженими вздовж ЛЕП залежно від напруги і відповідати чинним вимогам щодо захисту навколишнього середовища від шкідливого впливу електромагнітного випромінювання. Можливість проектування обмежених територій досягається в результаті графічного відображення на топографічному плані й подальшого аналітичного розрахунку проекту кадастрового зонування. Координати точок обмежених зон обчислюють, вирішуючи завдання аналітичної геометрії за допомогою побудови різних геодезичних засічок.

Як обґрунтування використовують теодолітні ходи, що спираються на пункти полігонометрії. Положення опор та крайніх проводів для обчислення їхніх координат визначають із точок або ліній цих ходів переважно полярним способом або способом засічок.

Сьогодні дедалі більше уваги звертають на можливість повітряного та наземного лазерного сканування території. Можливості технології лазерного сканування, особливо в комбінуванні з традиційними аерознімальними і фотограмметричними методами, настільки великі, що не буде перебільшенням розглядати його як альтернативу класичному стереотопографічному методу створення та оновлення топографічних карт і планів усього масштабного ряду аж до масштабу 1:1000. Знімання ЛЕП вже є класичним додатком до технології лазерного сканування – приблизно чверть всіх повітряних лазерних сканерів у світі використовують саме для цієї мети.

Розглядаючи можливість використання методу лазерно-локаційного знімання, можна вказати на істотні переваги, які забезпечує цей метод порівняно з традиційними підходами.

Продуктивність лазерно-локаційного методу надзвичайно висока (500–600 км за один знімальний день). Камеральну обробку результатів знімання можна виконувати оперативно на місці робіт. Це, своєю чергою, дає змогу ефективно контролювати якість знімання і за необхідності виконувати повторне знімання.

Лазерно-локаційний метод не потребує виконання наземних геодезичних робіт з планово-висотного обґрунтування результатів аерознімання.

Завдяки зніманню “зверху” цей метод дає змогу знімати великий обсяг траси, уникаючи таких суттєвих перешкод, як дерева, будівлі, фантоми.

Використання традиційних аерофотознімальних методів не дає змоги автоматизувати відтворення форми складних інженерних об'єктів, таких як трансформаторні підстанції, опори ЛЕП. Лазерно-локаційний метод реалізує пряме вимірювання всіх компонентів території знімання. Водночас, лазерно-локаційний метод завжди створює просторовий образ об'єкта – “хмару” лазерних точок, відбитих від поверхні об'єкта. Така “хмара” значно полегшує візуальний аналіз форми зображуваного об'єкта і дає змогу виконувати всі необхідні первинні (а іноді й остаточні) геометричні вимірювання з точністю до 15–20 см. Важливіше те, що дані, наведені в такій формі, можна ефективно використовувати для про-

грамного аналізу та побудови векторних моделей, що з вказаних вище причин вкрай важливо під час кадастрового зонування.

Використання лазерно-локаційних методів в електроенергетиці є одним з пріоритетних напрямів вирішення основних завдань функціонування ЛЕП.

Оцінка технічного стану:

- інспекція ЛЕП у смузі відчуження 100 м від осі лінії. Виявлення несправностей;
- паспортизація ЛЕП, визначення фактичних параметрів у частині довжин прольотів, стріл провисання, габаритів тощо;
- виявлення відхилень від проектної документації;
- обстеження підстанцій та інших об'єктів електромережевого господарства.

Інженерно-вишукувальні роботи:

- передпроектне обстеження ЛЕП під час реконструкції, прокладання волоконно-оптичних ліній зв'язку тощо.

Топографо-геодезичні та кадастрові роботи:

- створення топографічних планів масштабу 1:1000 і дрібніше;
- створення кадастрових планів та кадастрове зонування.

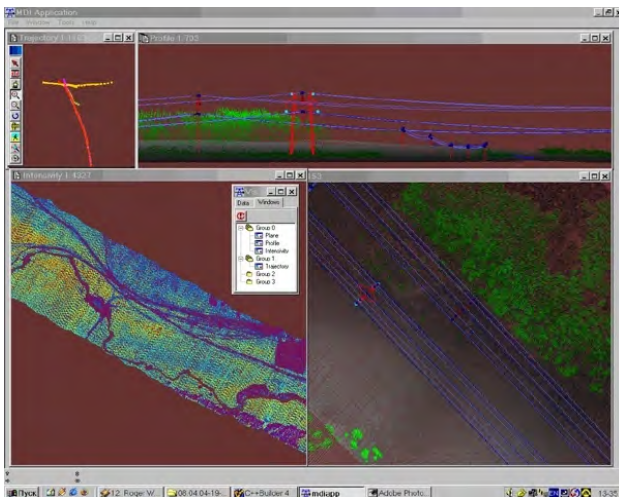


Рис. 1. Знімання лазерно-локаційним методом. Altaxis

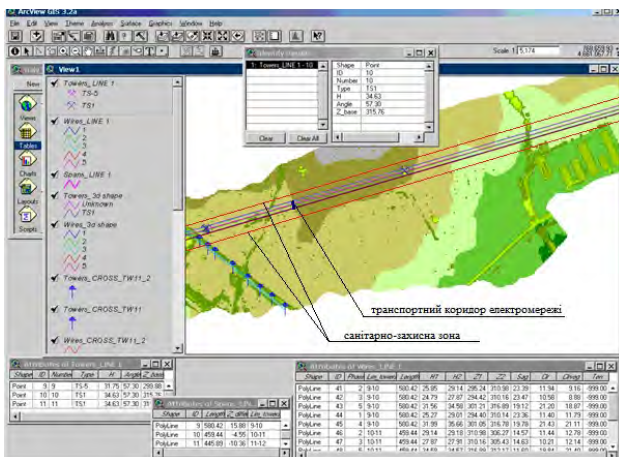


Рис. 2. Подання результатів ЛЛ у програмному пакеті ArcView

Геодезичне забезпечення аерознімальних робіт здійснюється за рахунок використання супутникових систем GPS. Збирання усіх необхідних даних, як правило, виконують за один прохід літального апарата над лінією, що забезпечує зменшення витрат на авіаційні роботи.

Лазерно-локаційний метод забезпечує таку точність знімання [8]:

- планові координати розташування опор – 0,2 м;
- висоти опор – 0,3 м;
- довжини прольотів, перепади висот у прольоті, габарити до землі, рослинності й проводів – 0,2 м;
- габарити до виділених географічних об'єктів – 0,5 м;
- стріли провисання – 0,15 м;
- кути повороту лінії – 0,2 °;
- географічна прив'язка ортофотоплану – 0,2 м;
- поперечні кути відхилення гірлянд ізоляторів – 5°.

Отже, лазерно-локаційний метод знімання повністю задовольняє вимоги до точності визначення охоронних та санітарно-захисних зон (див. табл. 1).

Для оброблення аерознімальних даних часто використовують програмний пакет Altaxis, розроблений в компанії "Геокосмос" для комплексного аналізу лазерно-локаційних даних і, зокрема, для створення векторних моделей ЛЕП (рис. 1).

Отже, можлива реалізація обробки даних за двома напрямками:

- базова обробка – передбачає процедури отримання первинних лазерно-локаційних даних;
- тематична обробка – орієнтована на загальні геодезичні та картографічні завдання, зокрема кадастрове зонування територій та визначення санітарно-захисних та охоронних зон.

Таке програмне забезпечення здійснює подання результатів обробки даних знімання у вигляді ГІС-проектів у форматах ArcView, MapInfo та інших поширених ГІС-програмах. Також можливе надання даних в CAD-середовищах, таких як AutoCAD, PLS-CADD, MicroStation та інших (рис. 2).

Якщо неможливо застосувати лазерно-локаційний метод, необхідно використовувати традиційні методи знімання. Перевагу потрібно надавати застосуванню супутникових навігаційних систем GPS, світловіддалемірів, електронних тахеометрів тощо.

## Висновки

Однією з основних складових кадастрового зонування є встановлення місця розташування обмежень щодо використання земель, ширини цих зон та параметрів точності їхнього визначення. Щодо земель у зоні впливу електричних мереж передбачено створення санітарно-захисних та охоронних зон. У результаті виконаних досліджень встановлено параметри точності визначення зон обмеженого використання земель з урахуванням впливу на здоров'я людей електричного та магнітного полів ЛЕП. З'ясовано, що під час кадастрового зонування таких земель можна використовувати як традиційні методи (теодолітні ходи, засічки), так і сучасні методи знімання (GPS-спостережень, аерознімання).

Останнім часом актуалізується застосування лазерного сканування, зокрема методу лазерно-локаційного знімання, який значно спрощує знімання електричних мереж та оброблення отриманих даних. Важливою є наявність сучасного програмного забезпечення, яке дасть змогу спроектувати територію обмеженого використання земель. У статті проаналізовано застосування лазерно-локаційного методу знімання для вказаних цілей.

#### Література

1. Земельний кодекс України / Відомості Верховної Ради України від 25.10.2001 р., № 2768-III.
2. Закон України “Про землі енергетики та правовий режим спеціальних зон енергетичних об’єктів” / Відомості Верховної Ради України від 09.07.2010 р., № 2480-VI.
3. ДБН В.2.5-16-99. Визначення розмірів земельних ділянок для об’єктів електричних мереж / затверджено наказом Держбуду України від 27 липня 1999 р., № 179.
4. Основи математичного опрацювання геодезичних вимірювань: навч. посіб. / П.М. Зазуляк, В.І. Гавриш, Е.М. Євсєєва, М.Д. Йосипчук. – Львів. Растр – 7, 2007. – 407 с.
5. Правила користування електричною енергією / затверджено постановою Національної комісії регулювання електроенергетики України від 31 липня 1996 р. № 28.
6. Програмний комплекс Model Studio CS ЛЭП від CSoft Development – [http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/sdgn/2009\\_1/42.pdf](http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/sdgn/2009_1/42.pdf).
7. Програмний продукт CREDO\_GEO від CREDO-DIALOGUE – [http://www.credo-dialogue.com/software/list\\_programs/credo\\_geo.aspx](http://www.credo-dialogue.com/software/list_programs/credo_geo.aspx).
8. Журнал “Электро-инфо”. № 5, 6 – 2004 р. – <http://www.energo-info.ru/content/section/18/108/>.

#### Лазерно-локаційний метод кадастрового зонування електричних мереж

О. Ткачик

Проаналізовано методи знімання електричних мереж. Наведено залежність між точністю визначення меж охоронних та санітарно-захисних зон і магнітної індукції вздовж ліній електропередачі. Встановлено можливість використання лазерно-локаційного методу знімання для проектування зон обмеженого використання.

#### Лазерно-локационный метод кадастрового зонирования электрических сетей

О. Ткачик

Проанализированы методы съемки электрических сетей. Представлена зависимость между точностью определения границ охранных и санитарно-защитных зон и магнитной индукции вдоль линий электропередачи. Установлено возможность использования лазерно-локационного метода съемки при проектировании зон ограниченного использования.

#### Laser-radar method of cadastral zoning of power networks

O. Tkachyk

The article analyzes the existing methods of withdrawing the electrical networks. The dependence between the accuracy of determining the boundaries of security and sanitary protective buffer zones and the accuracy of determining the magnetic induction along the power lines. Emphasized the possibility of using laser-radar method in the modeling zones of limited use.

12–17 вересня 2011 р., м. Алушта, Крим

Відбудеться XVI міжнародний науково-технічний симпозиум “Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: GPS- і GIS-технології”  
<http://geosymposium.at.ua/>

II З’їзд УКРАЇНСЬКОГО ТОВАРИСТВА ГЕОДЕЗІЇ І КАРТОГРАФІЇ

31 жовтня – 1 листопада 2011 р.

м. Київ

[www.utgk.com.ua](http://www.utgk.com.ua)

тел.: +380503706402