

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ “ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”**

На правах рукопису

УДК 621.397.331.222

**СОПІЛЬНИК Любомир Іванович**

**ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ  
ПОЛІВ НА АВТОМОБІЛЬНИХ ШЛЯХАХ ТА АНАЛІЗ ЇХ  
ВПЛИВУ НА ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНІ ПРИГОДИ**

Спеціальність 05.11.05 - Прилади та методи вимірювання електричних  
та магнітних величин

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Львів - 1997



Робота виконана в Державному університеті "Львівська політехніка"

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор  
Столярчук Петро Гаврилович

Офіційні опоненти: - доктор технічних наук, професор  
Поджаренко Володимир Олександрович  
- кандидат технічних наук, доцент  
Паракуда Василь Васильович

Провідна організація - Інститут прикладного системного аналізу НАН та  
Міносвіти України (Київ - 56, проспект Перемоги 37, НТУ "КПІ" корпус №14).

Захист відбудеться "27" червня 1997 р. о 16.00 годині в ауд. 226 головного  
корпусу на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 04.06.11 у Державному  
університеті "Львівська політехніка" (290646, Львів - 13, вул. С.Бандери, 12)

Відгуки на автореферат у двох примірниках, завірені печаткою, просимо  
надсилати за адресою: 290646, м.Львів - 13, вул. С.Бандери, 12, Державний  
університет "Львівська політехніка", вченому секретарю ради Д 04.06.11.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Державного університету  
"Львівська політехніка" (290013, Львів - 13, вул. Професорська, 1)

Автореферат розісланий "24" травня 1997р.

Вчений секретар спеціалізованої  
вченої ради, к.т.н., с.н.с.

Я.Т.Луцик

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА

Актуальність теми. Здоров'я та працездатність населення, кількість нещасних випадків на виробництві і транспорті значно залежить від шкідливих параметрів довкілля. Тому безперечно проблема покращення екологічних умов життєдіяльності та праці людей надзвичайно актуальна. Для її кардинального вирішення сьогодні залучені вчені та спеціалісти всіх наукових напрямків та професій. Чисельними дослідженнями підтверджено, що один з найшкідливіших впливів на біологічні організми, особливо організм людини, є інтенсивність та частота електромагнітного поля (ЕМП). Воно спричиняє болі в ділянці серця, болі голови, часткову втрату зору, тремтіння кінцівок та інші симптоми. Така зміна психофізіологічного стану вкрай небезпечна для водіїв при керуванні транспортними засобами.

Статистика дорожньо-транспортних пригод (ДТП) на автошляхах України свідчить, що протягом багатьох років в одних і тих самих місцях, при доброму стані покриття, на сухій рівній дорозі трапляються ДТП. Наприклад, в 1996 році у Львівській області зафіксовано 1432 ДТП, в яких загинуло 258 осіб, а 1518 - травмовано, а в Україні у 40088 ДТП загинуло 6631 осіб, поранено - 44101. Ці дані безсумнівно підтверджують потребу здійснення комплексних наукових досліджень розподілу ЕМП на автошляхах, встановлення кореляційних зв'язків між інтенсивностями напруженості поля чи його частотою і кількістю ДТП, визначення безпечних допустимих меж напруженості ЕМП та розроблення спеціальних заходів з метою запобігання та зменшення кількості ДТП. Ця проблема потребує наукового вирішення.

Зв'язок роботи з науковими програмами. Робота виконана у відповідності до державної програми "Екологія" і співпадає з напрямком науково-дослідних робіт кафедри "Метрологія, стандартизація та сертифікація" Державного університету "Львівська політехніка".

Метою дисертації є розроблення науково обґрунтованих необхідних та достатніх заходів для запобігання та зменшення ДТП на підставі досліджень ЕМП і виявлення існування кореляційних зв'язків між параметрами поля та кількістю ДТП.

Для досягнення постановленої мети в роботі вирішені наступні основні задачі:

- проведено комплексні експериментальні дослідження розподілу та інтенсивності ЕМП в широкому частотному діапазоні вздовж автомобільних шляхів;
- зібрано статистичний матеріал про кількість та частість ДТП в різні часові періоди (роки, місяці) на одних і тих же автошляхах;

Львів, 1996  
Доктор Ів. В. Стефанів  
АН України

- проаналізовано вплив ЕМП на зміну професійних навичок водія та розроблена на його підставі математична модель визначення мінімальної інтенсивності ЕМП, яке викликає зміну природної реакції людини;
- вдосконалено методики та модернізовано засоби вимірювання в польових умовах параметрів ЕМП геомагнітного та техногенного походження;
- визначено автоковаріаційні функції для рядів спостережень напруженостей геомагнітного поля та кількості ДТП, взаємоковаріаційні функції між кількістю ДТП та напруженістю ЕМП геомагнітного чи техногенного походження; здійснено відповідний спектральний аналіз;
- розроблено та впроваджено відповідні науково-обгрунтовані заходи запобігання та зменшення кількості ДТП при організації дорожньо-транспортного руху.

Методи дослідження. В роботі використані сучасні методи та засоби досліджень ЕМП різної природи, основні положення теорії вимірювань та математичної статистики, чисельні методи аналізу на ЕОМ, диференціальне та інтегральне числення. Застосовувалися методи математичного моделювання і планування експерименту.

Наукова новизна одержаних результатів дисертаційної роботи полягає в наступному:

- вперше проведено комплексні експериментальні дослідження розподілу ЕМП в широкому частотному діапазоні вздовж автомобільних шляхів та побудовані електромагнітні карти;
- створено математичну модель визначення мінімальної інтенсивності напруженості ЕМП, що викликає зміну професійних навичок водія;
- сформульовано та науково обгрунтовано проблему безпеки дорожньо-транспортного руху на автошляхах з нерівномірно розподіленим високочастотним ЕМП техногенного походження та дією постійного геомагнітного поля;
- оптимізовано методи здійснення експерименту з вимірювань параметрів ЕМП в польових умовах та обгрунтовано вибір засобів вимірювання з необхідними метрологічними та експлуатаційними характеристиками;
- на підставі визначених автокореляційних та взаємокореляційних функцій розподілу ЕМП і кількості ДТП розроблено та обгрунтовано методику оцінки аварійно-небезпечних ділянок шляху за інтенсивністю напруженості ЕМП.

Практична цінність виконаних досліджень і одержаних результатів полягає в тому, що:

- створено передумови для попередження та зниження аварійності на автошляхах, а, отже, збереження життя та працездатності багатьох людей і продовження терміну експлуатації транспортних засобів;

- рекомендовані методики та засоби вимірювання ЕМП природного та техногенного походження можуть бути використані для виявлення геомагнітних зон, шкідливих для здоров'я людини;

- розроблені та науково обгрунтовані карти ЕМП послужать аргументованим документом для організації дорожньо-транспортного руху службами ДАІ України.

Реалізація результатів роботи. Теоретичні та практичні результати дисертаційної роботи використані при організації дорожньо-транспортного руху на двох вулицях м.Львова (Княгині Ольги та Хуторівки), а також проведені навчальні заняття з особовим складом дорожньої міліції з метою акцентування особливої уваги до водіїв на ділянках з підвищеним рівнем напруженості ЕМП.

Особистий внесок автора. Основні положення та результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. Висновки та рекомендації зроблені на підставі теоретичних та експериментальних досліджень автора на автошляхах в межах Львівської області.

Апробація роботи. Апробація основних результатів роботи відбувалась на 6 науково-технічних конференціях та семінарах в Україні та в Польщі. Результати роботи доповідалися на конференції "Сучасна контрольно-випробувальна техніка промислових виробів та їх сертифікація" (м.Мукачів, 1997), на Першій інтернаціональній школі моделювання (Алушта, Крим, вересень, 1996 р.), II та III міжнародному семінарі (Польща, Ряшів, 1996, 1997 р.), на науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу Державного університету "Львівська політехніка".

Публікації. Основні результати дисертаційного дослідження повністю викладені у 8 наукових працях, з них 6 опубліковані без співавторства.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літератури та додатків.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі відображено актуальність проблеми. Обгрунтовано методи та основні задачі дослідження. Сформульовано наукову новизну та положення, що виносяться на захист. Розглянуто практичну цінність, реалізацію та впровадження результатів роботи.

В першому розділі розглянуто фізичні основи та характеристики факторів природнього та техногенного походження, що спричиняють ЕМП довкілля та детально проаналізовано на прикладах багаточисельних досліджень його вплив на біологічний організм, передовсім на людину. До факторів природнього походження відносяться електричне і магнітне поле Землі, атмосферна електрика (грозові розряди - блискавка), радіовипромінювання Сонця та Галактик. Джерелами техногенного походження є різноманітне електросилове устаткування, лінії електропередач, електропобутові прилади, антени поля та електромагнітні випромінювання різноманітної дослідницької, промислової та медичної надвисокочастотної апаратури.

Напруженість магнітного поля Землі коливається в широких межах: від сотих часток до декількох десятків ампер на метр (А/м) в залежності від географічної широти, пори доби та року, сонячної активності.

Напруженість постійного електричного поля  $E$  в звичайний день складає біля 100 В/м. Це значення коливається в залежності від висоти над поверхнею Землі і змінюється в часі.

Основним джерелом змінних природних ЕМП є атмосферні розряди. Вони поширюються в діапазоні частот від декількох одиниць до декількох десятків тисяч кілогерц.

Рівень ЕМП техногенного походження, що штучно створюється людиною, в окремих районах в сотні разів вищий від середнього рівня природних полів відповідних діапазонів, а його дії на організм людини при адекватних інтенсивностях і частотах - аналогічна.

Частотний діапазон штучних ЕМП сягає від 0 до 30 ГГц. Встановлено, що ЕМП, взаємодіючи з біологічним організмом, порушує активність різноманітних фізіологічних процесів на тканинному, клітинному та молекулярному рівнях.

Зважаючи на це, актуальною є задача кількісної оцінки параметрів ЕМП для нормування його дії на людину. Зцією метою створено модель, яка дозволила оцінити мінімальне значення напруженості магнітного поля, що діє на нервову систему і викликає зміну природньої реакції людини. Це значення можна визначити з виразу

$$H_m = 2,6 \times 10^{-7} \frac{1}{\omega_i^2 \times \mu \times \mu_0},$$

де  $\omega_i$  - кругова частота  $i$ -тої складової напруженості ЕМП;  $\mu_0$  - магнітна стала;  $\mu$  - відносна магнітна проникність.

В Україні встановлено допустимі інтенсивності ЕМП: - для надвисокочастотних полів - 0,01 мВт/см<sup>2</sup>; - для ультрависокочастотних полів - 5 мВт/см<sup>2</sup>; - для високочастотних полів - 20 мВт/см<sup>2</sup>. Існуючі санітарні норми параметрів ЕМП та часу перебування людини в них розроблені для цехових умов. На жаль, дія електромагнітного випромінювання не обумовлена санітарними нормами для автошляхів.

Аналіз факторів короткочасного впливу ЕМП на людину свідчить, що існуючий на автошляхах рівень ЕМП, його зміна в просторі та часі може в декілька разів збільшити ризик виникнення ДТП.

Показано, що найкращим способом виявлення скритих чи періодичних змін, замаскованих випадковими флуктуаціями параметрів ЕМП, є методи кореляційного та спектрального аналізів, які необхідно застосовувати до рядів спостережень ЕМП та ДТП.

Другий розділ присвячений оптимальному вибиранню методів та засобів вимірювання параметрів ЕМП в залежності від апріорної інформації про джерела цих полів та умови, в яких проводяться вимірювання.

Для вимірювання горизонтальної складової напруженості постійного магнітного поля використовували модернізований нами абсолютний метод, який базується на взаємодії поля постійного магніту, що перебуває в магнітному полі Землі, з однорідним полем, що створюється котушкою зі струмом. При довжині магніта  $\ell \leq 0,1 R$  (радіуса котушки) поле однорідне, його напруженість обчислювали за формулою:

$$H_0 = \frac{4\pi I w R^2}{(R^2 + d^2)^{3/2}} \cdot \left(1 + \frac{d^2}{R^2}\right),$$

де  $I$  - сила струму, що протікає через котушку;  $w, R$  - кількість витків та радіус котушки відповідно;  $d$  - відстань між котушками.

Значення горизонтальної складової  $H_x$  визначали з умови рівноваги взаємодії двох полів як

$$H_x = \frac{H_0}{\sin \Theta},$$

де  $\Theta$  - кут між векторами напруженостей  $H_x$  і  $H_0$ .

За допомогою цього методу здійсненні щоденні вимірювання горизонтальної складової напруженості геомагнітного поля в умовах Львівської обсерваторії протягом 1993-96 рр. (рис.1).

Відносна похибка оцінки горизонтальної складової напруженості ЕМП

$$\delta_{H_x} = -\frac{\Theta}{\text{ctg}\Theta} \delta_{\Theta} + \delta_I + \delta_W - \delta_R - \left(\frac{d}{R}\right)^2 \delta_d,$$

де  $\delta_{\Theta}$ ,  $\delta_I$ ,  $\delta_W$ ,  $\delta_R$ ,  $\delta_d$  - відносні похибки визначення кута  $\Theta$ , струму  $I$ , кількості витків  $W$ , радіуса котушки  $R$ , відстані між котушками  $d$ , відповідно.

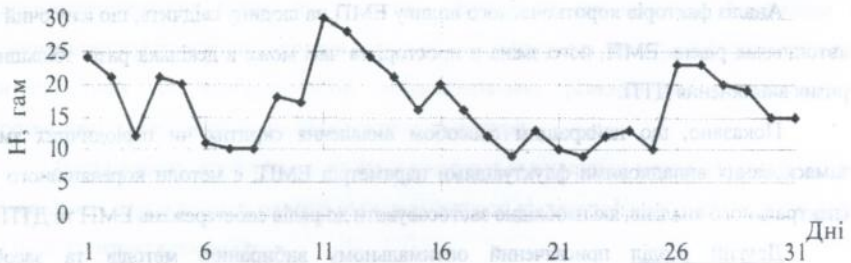


Рис.1. Зміна горизонтальної складової напруженості геомагнітного поля в березні 1995 року

Значний вплив на самопочуття людини має магнітна активність, що виражається через зміни напруженості магнітного поля за певний проміжок часу. Проте, виявлення кореляційних зв'язків між магнітною активністю та кількістю ДТП утруднене відсутністю одиниці вимірювання магнітної активності, а так звана міжнародна характеристика, що подається числами 0, 1 і 2, для цієї мети непридатна. Тому для визначення магнітної активності нами запропоновано користуватись зміною потенціальної енергії магнітного поля, яка подається залежністю:

$$\Delta U = (HdH + ZdZ) / 1000,$$

де  $\Delta U$  - зміна потенціальної енергії  $U$ , яка знаходиться як

$$U = (\bar{H}^2 + \bar{Z}^2) / 8\pi,$$

де  $\bar{H}$  і  $\bar{Z}$  - середні значення (наприклад, за місяць чи рік) горизонтальної та вертикальної складових напруженості магнітного поля;  $dH$  і  $dZ$  - відхилення від середнього значення за добу.

Для значної кількості спостережень  $n$  доведено, що середнє значення горизонтальної складової напруженості

$$\bar{H} = \sum_{k=0}^n H_k = H_o \cdot \sin(\omega_1 t + \varphi_1),$$

де  $\omega_1$  - кругова частота складової напруженості магнітного поля.

Аналіз магнітограм показав, що існують як періодичні, так і неперіодичні складові, які спостерігаються при магнітних бурях.

Для вимірювання напруженості електричної складової  $E$  із значеннями від декількох десятків мВ/м до В/м і більше, використовувався метод безпосереднього вимірювання, який ґрунтується на відомому співвідношенні:

$$E = \frac{U_a}{h_q},$$

де  $E$  - напруженість поля, В/м;  $U_a$  - значення електричної напруги, наведеної в антені, В;  $h_q$  - діюча висота виміральної антени, м.

Для вимірювань низьких рівнів напруженості від часток мкВ/м до десятків мВ/м використовувались методи різночасового та одночасового порівняння напруг досліджуваного та зразкового сигналів (від генератора каліброваних сигналів).

В роботі запропоновано методику, що дозволяє оцінювати вплив сукупності джерел електромагнітного випромінювання на організм людини, що тривало перебуває під дією цього випромінювання:

$$K_{ре ал} = 100 \frac{\Pi}{\Pi_{г дп}} = \left( \frac{r_{с з з}}{r} \right)^2,$$

де  $\Pi$  - густина потоку енергії джерела випромінювання;  $\Pi_{г дп}$  - гранично допустимий рівень густини;  $r_{с з з}$  - відстань до границі санітарної захисної зони;  $r$  - відстань до джерела випромінювання.

В третьому розділі здійснено докладний статистичний аналіз вимірних значень напруженостей ЕМП природного та техногенного походження, їх розподілу за 1993-95 роки та даних про ДТП за цей же період, виявлені їх властивості та встановлено наявність кореляційних залежностей між ними.

Для коректного знаходження оцінок автокореляційних та взамокореляційних функцій досліджувалась випадковість рядів спостережень напруженості ЕМП та кількості ДТП, їх стаціонарність, характеристики тренду, періодичних складових, ефект сезонності. Для підвищення вірогідності висновків аналіз випадковості здійснювався за трьома критеріями: екстремумів, фаз та знаків різниць.

При застосуванні критерію екстремальних точок послідовності значень напруженостей  $H_1, H_2, \dots, H_n$  постійного геомагнітного поля та значень  $E_1, E_2, \dots, E_n$  напруженості змінного електричного поля й послідовності кількості ДТП модифіковано в інші послідовності  $x_1, x_2, \dots, x_n$  за правилом (проілюструємо на прикладі послідовності значень напруженості геомагнітного поля)  $x_i=1$ , якщо  $H_i < H_{i+1} > H_{i+2}$  або  $H_i > H_{i+1} < H_{i+2}$  та  $x_i=0$  - в іншому випадку ( $i=1, 2, \dots, n-2$ ). Для цієї послідовності математичне очікування кількості екстремальних точок та їх дисперсія визначаються, відповідно, як

$$M_p = \sum_{i=1}^{n-2} Mx_i = \frac{2 \cdot (n-2)}{3}, \quad (3.1)$$

$$D_p = M_p^2 - (M_p)^2 = \frac{16n-29}{90}. \quad (3.2)$$

Зокрема для різних інтервалів часу:  $M_{p1}=242$ ,  $D_{p1}=64$  (за рік);  $M_{p3}=730$ ,  $D_{p3}=194$  (за три роки);  $M_{p12}=19$ ,  $D_{p12}=5$  (за січень місяць 1995 року). Для довірчої ймовірності 0,9973 допустиме відхилення від теоретичної оцінки становить  $\pm 24$ ,  $\pm 42$  та  $\pm 7$ , відповідно.

Порівнюючи теоретичні значення з опрацьованими результатами експериментальних даних про значення напруженості геомагнітного поля, стверджуємо, що чиста випадковість ні в річних, ні в трирічних тривалостях спостережень не справджується, а в місячних справджується ненадійно.

Аналогічно опрацьовано дані про ДТП за цей же період та про виміряні значення напруженостей електричної складової ЕМП і кількості ДТП вздовж трас Львів-Жовква та Львів-Золочів. На підставі аналізу опрацьованих експериментальних даних можна стверджувати, що в часовій послідовності ДТП чиста випадковість не спостерігається, а в послідовностях напруженостей ЕМП та кількості ДТП в геометричних координатах випадковість наявна.

При опрацьовуванні рядів спостережень за критерієм фаз формується новий модифікований ряд довжиною  $n$ , з математичним очікуванням кількості фаз довжиною  $d$

$$Md = \frac{2(n-d-2) \cdot (d^2 + 3d + 1)}{(d+3)!} \quad (3.3)$$

й частістю появи фази

$$f_d = \frac{Md}{M} = \frac{6 \cdot (n-d-2) \cdot (d^2 + 3d + 1)}{(d+3)! \cdot (2n-7)}, \quad (3.4)$$

де  $M$  - математичне очікування повної кількості фаз,  $M = \sum_d Md$ .

Процедура перевірки випадковості полягає в порівнянні фаз, одержаних за експериментальними даними, з теоретично обчисленими за співвідношенням (3.3).

При аналізуванні за критерієм, що базується на знаках різниць, експериментальні послідовності модифікуються в нові за тенденцією їх значень до зростання.

Кількість точок зростання  $c = \sum_{i=1}^{n-1} x_i$ , а математичне сподівання:

$$M_c = \frac{1}{2} \cdot (n - 1). \quad (3.5)$$

Отримані за цим критерієм результати підтвердили попередньо отримані за іншими критеріями висновки. Отже, підсумовуючи, можна стверджувати, що в часових послідовностях значень напруженості геомагнітного поля та кількості ДТП, крім випадкових, існують тренди й інші систематичні зміни.

Для підтвердження гіпотези про наявність тренду використовувався критерій серій. Математичне очікування кількості серій, утворених з  $n$  спостережень визначається як

$$M_r = \frac{2N_1N_2}{N} + 1, \quad (3.6)$$

а дисперсія

$$D_r = \frac{2N_1N_2(2N_1N_2 - N)}{N^2(N - 1)}, \quad (3.7)$$

де  $N_1$  та  $N_2$  - кількості значень більших та менших за середнє, відповідно.

Аналіз отриманих в роботі результатів опрацювання експериментальних даних за цим критерієм підтвердив, що в розподілах напруженостей геомагнітного поля та кількості ДТП при тривалих часових спостереженнях (рік, три роки) є наявний тренд.

Виявлений річний тренд найоптимальніше описується поліномом 4-ої степені

$$H_t = a_0 + a_1t + a_2t^2 + a_3t^3 + a_4t^4. \quad (3.8)$$

За допомогою методу найменших квадратів обчислені значення коефіцієнтів полінома, як для напруженостей геомагнітного поля, так і для ДТП. При подальшому кореляційному аналізі тренд усувався (рис.2).

Що стосується розподілів напруженостей техногенного ЕМП та кількості ДТП в геометричних координатах, то дослідження показали, що в них відсутній тренд, тобто ці випадкові процеси є стаціонарними.

Вплив сезонних коливань на річний ряд спостережень описувався мультиплікативною моделлю з щоквартальним часовим інтервалом

$$H_{iq} = H_i S_q + \epsilon, \quad (3.9)$$

де  $H_{iq}$  - середньорічне значення напруженості для аналізованого  $i$ -того року;

$S_q$  - значення сезонного фактора, що не змінюється від одного року до іншого;

$\epsilon$  - випадкова похибка;  $q = 1,2,3,4$ .

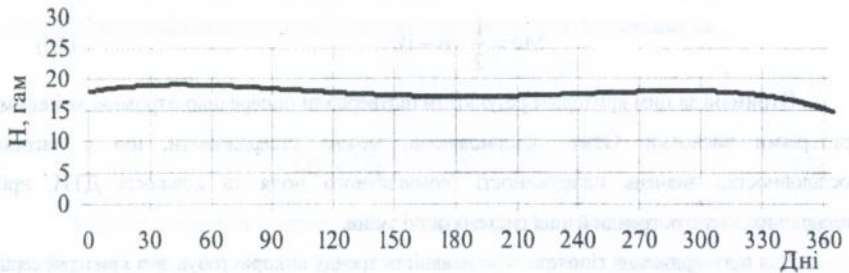


Рис.2. Виявлений тренд в змінах геомагнітного поля

Знайдено оцінки мультиплікативного сезонного фактора  $S_q$ , які враховувалися в подальшому аналізі.

Для аналізу статистичних залежностей між розподілами напруженостей геомагнітного чи техногенного полів й кількістю ДТП використано кореляційний метод. Коваріаційна функція із запізненням на  $k$  кроків має вид

$$r_k = \frac{\frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^{n-k} (U_i - \bar{U})(U_{i+k} - \bar{U})}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (U_i - \bar{U})^2}, \quad (3.10)$$

де під величиною  $U_i$  розуміємо в кожному конкретному випадку - напруженості геомагнітного чи техногенного полів, кількість ДТП;  $\bar{U} = \frac{\sum_{i=1}^n U_i}{n}$  - середнє значення величини  $U$ .

За цією методикою визначено автоковаріаційні функції для напруженості геомагнітного поля за тримісячний (рис.3), щорічний та в цілому за трирічний (1993-95) термін. Спостерігається тенденція до зменшення значення функцій із зростанням відстані між часовими перерізами, а локальні екстремуми мають період близький до 25-28 днів. Тобто підтверджується висновок про наявність невідповідної періодичної складової напруженості геомагнітного поля з періодом близьким до 26 днів.

Дослідження взаємоковаріаційної функції між напруженістю геомагнітного поля та кількістю ДТП показують, що між відкоригованими з трендів та з періодичних складових рядами спостережень корельованість слабка (на рівні 0,10-0,23). Зате між самими трендами існує досить сильний зв'язок (0,92-0,98). Отже, необхідно вживати певні запобіжні заходи щодо попередження ДТП при наявності інформації про значення напруженості геомагнітного поля.

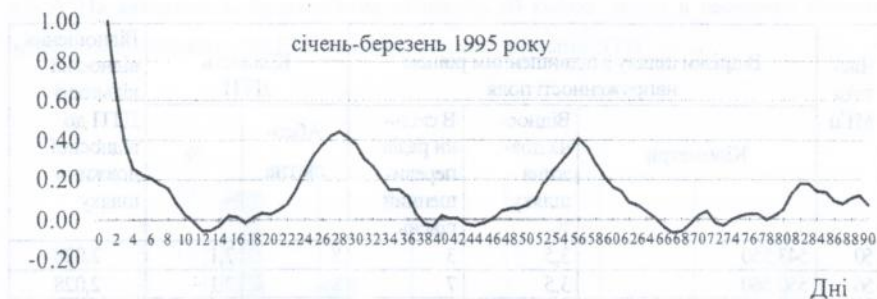


Рис.3. Автоковаріаційна функція геомагнітного поля в часі

Четвертий розділ присвячений виробленню рекомендацій для організації дорожньо-транспортного руху на автошляхах Львівщини. Для цього в роботі проаналізовано загальні закономірності розподілу напруженостей техногенного високочастотного ЕМП та кількості ДТП в геометричних координатах (вздовж різних автошляхів). Показано, що розподіл техногенного ЕМП за інтенсивностями і за спектром частот має суттєво нерівномірний характер.

Для виявлення небезпечних ділянок автошляхів визначено мінімальні значення  $E_{min}(f)$  електричної складової напруженостей ЕМП на різних частотах, що викликають зміну реакції нервової системи людини неадекватну природній. Порівнюючи обчислені значення  $E_{min}(f)$  для різних частот з інтенсивностями полів тих же частот, отриманих на підставі розроблених в роботі електромагнітних карт різних автошляхів, встановлено ділянки з підвищеними інтенсивностями напруженостей ЕМП порівняно з безпечним рівнем.

На всіх досліджених автошляхах є ділянки, де рівень напруженостей електричної складової ЕМП в десятки та сотні разів перевищує обчислені мінімальні рівні  $E_{min}(f)$ .

Для прикладу в табл.1 подано дані щодо кратності перевищення значеннями напруженостей ЕМП безпечного рівня  $E_{min}(f)$  на автодорозі Львів-Стрий та щодо відносної кількості ДТП на окремих ділянках цього автошляху.

Таблиця 1.

Аналіз значень напруженостей ЕМП та кількості ДТП на автодорозі Львів-Стрий

Час- тота МГц	Відрізки шляху з підвищеним рівнем напруженості поля			Кількість ДТП		Відношення відносної кількості ДТП до відносної довжини шляху
	Кілометри	Віднос- на дов- жина шляху %	В скіль- ки разів переви- шений рівень	Абсо- лютна	%	
50	543,550	3,5	3	8	7,1	2,028
56	550,560	3,5	7	8	7,1	2,028
66	550	1,8	4	5	4,5	2,500
68	542,543,550,559	7,1	2	13	11,6	1,633
84	568	1,8	9	4	3,6	2,000
96	550,589	3,5	9	6	5,3	1,514
128	543	1,8	4	3	2,7	1,500
134	542,563	3,5	10	9	8,0	2,285
154	550,558	3,5	30	9	8,0	2,285
192	542,550,559	5,3	600	12	10,7	2,018
198	542	1,8	500	7	6,2	3,444
	543	1,8	340	3	2,7	1,5
222	542	1,8	440	7	6,2	3,444
390	542	1,8	650	7	6,2	3,444
	543,544	3,5	280	7	6,2	1,771
498	541,542,543,544,545	8,9	450	17	15,2	1,707
578	542,543,544,553,554	8,9	70	17	15,2	1,707
600	542,543	3,5	140	10	8,9	2,542
	544,545,557,558	7,1	60	12	10,7	1,507
606	542	1,8	250	7	6,2	3,444
612	542	1,8	200	7	6,2	3,444
	543,544,545	5,3	50	9	8,0	1,509
637	542	1,8	500	7	6,2	3,444
	543	1,8	350	3	2,7	1,500
	544	1,8	250	4	3,6	2,000
664	542,543,544,553	7,1	60	16	14,3	2,014
532	541,542,543	5,3	700	11	9,8	1,849
	544	1,8	300	4	3,6	2,000

Розподіл ДТП вздовж автодорогі здебільшого близький до експоненційного, що підтверджується, наприклад, розподілом кількості ДТП на трасі Львів-Золочів (рис.4).

Виявлені в роботі кореляційні залежності між значеннями напруженостей ЕМП та кількістю ДТП засвідчують, що максимум взаємкореляційної функції спостерігається при відстані між найбільшими значеннями напруженості ЕМП і кількості ДТП приблизно рівній 6 км на автошляхах з дозволеною максимальною швидкістю 90-110 км/год (рис.5 а,б,в). На автошляхах, де допустима швидкість 60 км/год, тобто в населених пунктах, максимумами напруженостей ЕМП збігаються з максимумами ДТП.

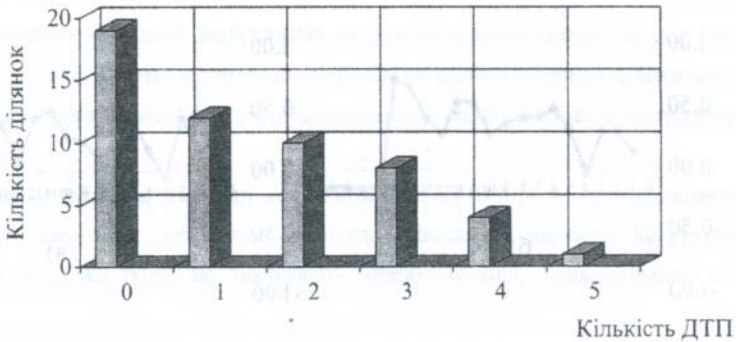


Рис.4. Розподіл дорожньо-транспортних пригод на ділянках довжиною 1 км автодороги Львів-Золочів

Вперше впроваджено результати досліджень на двох вулицях Львова (вул.Княгині Ольги та Хуторівка) з одностороннім рухом. В середньому на цих вулицях щорічно траплялось до 10 аварій з людськими жертвами. Напруженість електричної складової ЕМП в цих місцях перевищує  $E_{min}(f)$  в 200 й більше разів. Враховуючи наші рекомендації ДАІ м.Львова обмежила швидкість руху до 40 км/год по вул. Княгині Ольги та до 50 км/год по вул.Хуторівка. Такі заходи дозволили повністю уникнути ДТП у 1996 році.

Великий ризик виникнення ДТП є при наявності магнітних бур. Взаємкореляційним аналізом виявлено 25...28-денну періодичність підвищеного ризику ДТП. Тобто існує технічна можливість за 2-4 дні до початку магнітної бурі через засоби масової інформації повідомити про це з метою попередження ДТП.

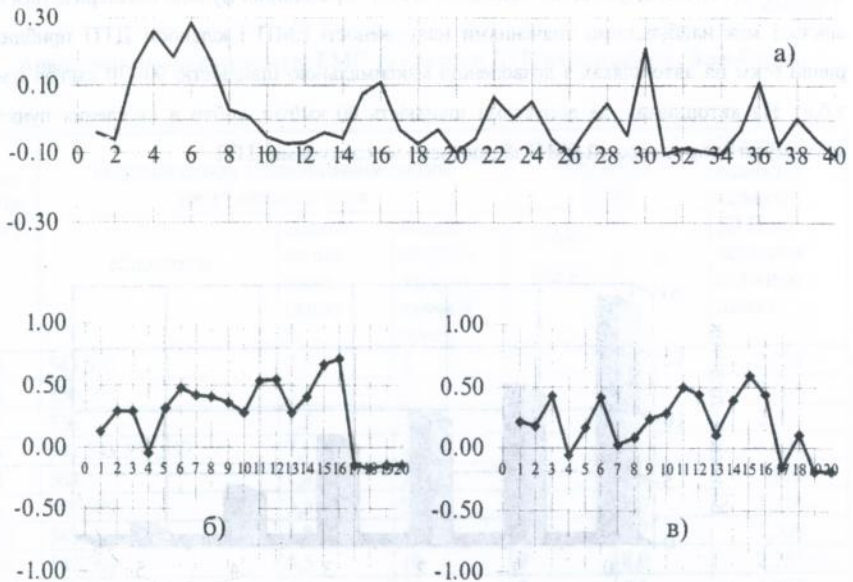


Рис.5. Взаємкореляційні функції між ДТП та:

- а) змінним височастотним сумарним полем на автодорозі Львів-Золочів;
- б,в) змінним полем з фіксованими частотами 68 МГц та 192 МГц, відповідно, на автодорозі Львів-Жовква

Найефективнішим способом зменшення та уникнення ДТП, причиною яких є дія ЕМП, буде обладнання транспортних засобів пристроями вимірювання та сигналізування про небезпечні для водіїв рівні напруженостей ЕМП. Ця інформація дозволить кожному водію індивідуально вибирати безпечну для себе й навколишніх швидкість руху. Такий засіб вимірювання є в стадії розробки і планується до впровадження в серійне виробництво для оснащення транспортних засобів.

Сформульовані в роботі рекомендації дозволяють забезпечити зменшення кількості ДТП і завдяки цьому зберегти життя та здоров'я багатьох людей, а також продовжити термін служби транспортних засобів.

## ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

1. Вперше проведено комплексні експериментальні дослідження ЕМП вздовж автошляхів та виміряно його параметри в широкому частотному діапазоні.

2. Оптимізовано методику проведення вимірювань параметрів ЕМП на автошляхах та обґрунтовано вибір засобів вимірювання з необхідними метрологічними та експлуатаційними характеристиками.

3. Систематизовано ЕМП природнього та техногенного походження за інтенсивністю та спектром частот і виявлено їх вплив на організм людини. Доведено необхідність визначення взаємозв'язків між розподілом інтенсивності ЕМП вздовж автошляхів та кількістю ДТП на них.

4. Модернізовано засіб вимірювання напруженості геомагнітного поля з метою підвищення чутливості, а також одержано неперервні результати вимірювань інтенсивності поля, на підставі опрацювання яких стало можливим науково обґрунтоване прогнозування магнітних бур.

5. Запропоновано математичну модель впливу ЕМП на нервову систему людини та визначено в широкому частотному діапазоні мінімальні значення напруженості електричної складової поля, які викликають небезпечну зміну психофізичного стану людини.

6. Показано, що в часових розподілах напруженості геомагнітного поля і кількості ДТП наявний тренд та періодичні складові, а розподіл напруженості ЕМП та кількість ДТП в геометричних координатах (вздовж автошляхів) чисто випадкові і корельовані.

7. Визначено автокореляційну функцію часового розподілу напруженості геомагнітного поля, на підставі якої виявлено не випадкову періодичну (з періодом 25-28 днів) складову напруженості геомагнітного поля. Спектральний аналіз підтвердив її наявність.

8. Виявлено, що між трендами напруженості геомагнітного поля та ДТП існує досить тісний зв'язок, що дозволяє прогнозувати можливі ДТП в майбутньому за поточними результатами вимірювань значень напруженості геомагнітного поля.

9. На підставі теоретичних досліджень розроблено методику оцінки аварійно-небезпечних ділянок шляху, яка ґрунтується на аналізі автокореляційних та взаємкореляційних функцій розподілів ЕМП та кількості ДТП як в часі, так і в геометричних координатах (вздовж автошляхів).

10. Розроблені та теоретично обгрунтовані рекомендації для Державтоінспекції щодо організації дорожньо-транспортного руху на автошляхах та побудовані електромагнітні карти автошляхів Львівщини.

#### ПУБЛІКАЦІЇ

1. Сопільник Л.І. Дослідження впливу електромагнітних полів на інтенсивність дорожньо-транспортних пригод /Автоматика, вимірювання та керування: Вісник Державного університету "Львівська політехніка". - 1997, №314.-С.74-79.

2. Сопільник Л.І.,Столярчук П.Г. Моделювання дії електромагнітного поля на організм людини /Автоматика, вимірювання та керування: Вісник Державного університету "Львівська політехніка". - 1997, №314.-С.102-105.

3. Сопільник Л.І. Вплив електромагнітних полів на інтенсивність дорожньо-транспортних пригод /Комп'ютерна інженерія та інформаційні технології: Вісник Державного університету "Львівська політехніка". - 1996, № 307.-С.97-102.

4. Сопільник Л.І. Моделювання зв'язків параметрів електромагнітного поля довкілля і дорожньо-транспортних пригод. 1-st International modelling school.- Krumn 96. September 12-17, 1996. Rzeszow,1996.-P.70.

5. Сопільник Л.І. Методи та засоби дослідження електромагнітних полів техногенного походження. /Вимірювальна техніка та метрологія. Вип. №52, 1997.-С.35-37.

6. Сопільник Л.І. До питання моніторингу параметрів електромагнітного поля довкілля /Вимірювальна техніка та метрологія. - 1997, Вип.№52.-С.32-34.

7. Сопільник Л.І. До питання сертифікації автомобільних шляхів /Праці 1-ої науково-практ.конф. "Сучасна контрольно-випробувальна техніка промислових виробів та їх сертифікація". - Мукачів,1997.-С.77-79.

8. Stoljarchtuk P., Sopilnyk L. Estimation of magnetic activity and intensity of a geomagnetic field./Metody i technika przetwarzania sygnalow w pomiarach fizycznych. Materiały międzynarodowego seminarium naukowego. - Rzeszow, 1997.-P.75-78.

#### АНОТАЦІЯ

Сопільник Л.І. Вимірювання параметрів електромагнітних полів на автомобільних шляхах та аналіз їх впливу на дорожньо-транспортні пригоди. Рукопис.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.05 - прилади та методи вимірювання електричних та магнітних величин. - Державний університет "Львівська політехніка", Львів, 1997.

Дисертація присвячена дослідженню та аналізу розподілу електромагнітного поля вздовж автомобільних шляхів, визначенню кореляційних зв'язків між часовим розподілом геомагнітного поля та кількістю дорожньо-транспортних випадків, а також між просторовим розподілом електромагнітного поля та кількістю випадків. На підставі аналізу кореляційних зв'язків і математичного моделювання впливу розподілу електромагнітного поля на організм людини та зміну природної реакції визначено потенціально небезпечні для автомобільних випадків ділянки автошляхів. Основні результати роботи використані при оптимальному організуванні дорожньо-транспортного руху.

Ключові слова: вимірювання, розподіл, електромагнітне поле, взаємкореляційний аналіз, автодорожні випадки.

#### АННОТАЦИЯ

Сопильных Л.И. Измерение параметров электромагнитных полей на автомобильных дорогах и анализ их влияния на дорожно-транспортные происшествия. Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.05 - приборы и методы измерения электрических и магнитных величин. - Государственный университет "Львівська політехніка", Львов, 1997.

Диссертация посвящена исследованию и анализу распределения электромагнитного поля вдоль автомобильных дорог, определению корреляционных связей между временным распределением геомагнитного поля и количеством дорожно-транспортных происшествий, а также между пространственным распределением электромагнитного поля и количеством происшествий. На основании анализа корреляционных связей и математического моделирования действия распределения электромагнитного поля на организм человека и изменения естественной реакции определены участки автодорог, которые являются потенциально опасными для автомобильных происшествий. Основные результаты работы нашли использование при организации дорожно-транспортного движения.

Ключевые слова: измерение, распределение, электромагнитное поле, взаимокорреляционный анализ, автодорожные происшествия.

L.I.Sopilnyk. The Highway Electromagnetic Field Parameters Measurement and Their Road-Transport Incidents Influence Analysis. - Manuscript.

He is a technical sciences degree candidate doing a dissertation on 05.11.05 speciality - devices and the electrical and magnetic sizes measurement methods. - State University "Lviv Polytechnic", Lviv, 1997.

This dissertation examines the electromagnetic field distribution along highways using cross-correlation analysis between the number of road-transport incidents and temporary geomagnetic fields, through which electromagnetic field space distributions are determined. The cross-correlation analysis basis and the connections between it and the human body responses to electromagnetic field distribution are analyzed using mathematical models. The natural reaction changes were estimated to be a potential danger on highway sites. The main work results were implemented at the traffic road-transport movements with in Lviv region.

Key words: measurement, distribution, electromagnetic field, cross-correlation, analysis, road incident.

