

# ЛАЗЕРНА ВІДДАЛЕМІРНА СИСТЕМА ВИЩОЇ ТОЧНОСТІ ДЛЯ ЛІНІЙНИХ ВИМІРЮВАНЬ НА ГЕОДИНАМІЧНИХ ПОЛІГОНАХ УКРАЇНИ

М.Кравченко, П.Несжмаков, О.Прокопов  
(ДНВО "Метрологія" Держстандарту України)

## МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЄДНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ

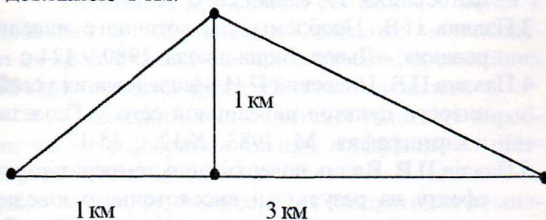
Геодинамічні процеси, що характерні для території України, досліджуються в глобальних, регіональних та локальних масштабах. Вивчення сучасних рухів земної кори потребує єдності лінійних вимірювань на геодинамічних полігонах.

Матеріально-технічною основою системи передачі розміру одиниці довжини - метра на геодинамічних полігонах України можуть бути робочі пересувні еталони та фундаментальні, опорні і робочі репери, які закріплюють відповідно еталонні, зразкові і робочі лінійні базиси

довжиною від десятків метрів до кількох тисяч кілометрів. Як робочі пересувні еталони пропонується використовувати квантово-електронні системи лінійних вимірювань (лазерні інтерферометри, лазерні віддалемірні системи, супутникові лазерні віддалемірні комплекси) [1].

Метрологічну атестацію геодинамічного полігона можливо виконати за допомогою зразкової лінійно-кутової міри у вигляді трикутника з тупим кутом (рис.1). При цьому сторона трикутника, що лежить проти тупого кута, повинна бути паралельною активному розлому, віддалена від нього на 5-10 км, і закріплена трьома фундаменталь-

ними реперними знаками, які утворюють два створних базиси з довжинами 1 км та 3 км. Базис, який з'єднує вершину тупого кута і проміжний репер, має бути перпендикулярним, з довжиною-1 км.



**Рис.1. Лінійно-кутова міра у вигляді трикутника з тупим кутом**

Лінійні базиси зазначеної взірцевої міри повинні атестуватися з відносною похибкою не більше

$5 \cdot 10^{-7}$ , наприклад, лазерною віддалемірною системою (ЛВС) вищої точності ДНВО "Метрологія" типу ППЛ-10. При таких похибках вимірювань сторін міри похибка визначення кутів при її вершинах не буде перевищувати  $0.1''$ . Наявність зразкової лінійно-кутової міри на кожному геодинамічному полігоні дозволить забезпечити єдність геодезичних вимірів шляхом еталонування віддалемірів, високоточних теодолітів, лазерних тахеометрів та приймачів GPS перед початком проведення лінійних та куткових спостережень на інформаційній мережі геодинамічного полігона.

#### ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ВІДДАЛЕМІРНИХ СИСТЕМ ВИЩОЇ ТОЧНОСТІ

В останні роки були створені лазерні віддалемірні системи вищої точності для геодезичних та геофізичних вимірів. Дисперсійна лазерна система ЛДМ-2, яка виготовлена фірмою Терра-технологі (США), дозволяє вимірювати довжину від 1 до 20 км з відносною похибкою від  $5 \cdot 10^{-7}$  до  $1 \cdot 10^{-7}$  відповідно. Лазерна віддалемірна система Геоменсор ЦР-204 розроблена фірмою Ком-Ред у співробітництві з національною фізичною лабораторією (НФЛ) Англії і має радіус дії від 10 до 10000 м і середню квадратичну похибку виміру  $0.5 \text{ мм} + 5 \cdot 10^{-7} \text{ Д}$ , де Д - довжина, що вимірюється у мм. Геоменсор ЦР-204 відрізняє від аналогів наявність телеметричної системи виміру показника заломлення. Лазерна

віддалемірна система Мекометр МЕ-5000, що випускає фірма Керн (Швейцарія), вимірює довжину від 10 до 5000 м, середня квадратична похибка виміру  $0.1 \text{ мм} + 5 \cdot 10^{-7} \text{ Д}$ . В Японії відділенням квантової оптики фірми "Ньюсу" та НДЛ метрології Японії розроблена лазерна віддалемірна система на основі випромінювача з биттям подовжніх мод. Фірмою "Толукон" виготовлені експериментальні зразки ЛВС. Для визначення похибки були використані інтерференційні базиси НДЛ метрології Японії. Дослідженнями встановлено, що середня квадратична похибка на базисі 5 м не перевищує 10 мкм, а на базисі 350 м менше 50 мкм. Інститутом радіотехніки та електроніки РАН (Росія) розроблений та виготовлений зразок дисперсійного віддалеміра для довгострокових вимірювань геофізичних або тектонічних процесів, які супроводжуються рухами земної кори. Він має два конала вимірювання оптичної віддалі на двох довжинах хвиль - 0.63 мкм і 0.44 мкм, що дозволяє обчислювати геометричну довжину без вимірювання показника заломлення повітря уздовж лінії. Радіус дії від 1 до 15 км, похибка вимірювання ліній 3 мм, час усереднення одного виміру 1 година.

У ДНВО "Метрологія" протягом значного часу проводяться дослідження та розробки у галузі віддалеметрії. Були розроблені експериментальні зразки ЛВС на биттях подовжніх мод лазерного пучка з метрологічними характеристиками, що перевищують ЛВС фірми "Ньюсу", як по діапазону вимірювань від 1 до 10000 м, так і по інструментальній похибці вимірювань. Дослідженнями, які проводились на 12 м та 24 м базисах компаратора Московського інституту геодезії та картографії, встановлено, що розбіжності вимірювань на 12 м склали -6 мкм, а на 24 м - не перевищили +25 мкм. При цьому похибка відтворення базису 24 м не перевищувала 16 мкм при  $P=0.95$ .

#### СТРУКТУРНА СХЕМА РОЗРОБЛЕНОЇ ЛВС

Структурна схема експериментальної зразка ЛВС вищої точності ППЛ-10 наведена на рис.2. Вона включає лазерну підсистему виміру оптичної довжини і три телеметричні підсистеми (одна для базового пункту та дві для виносного).







(ДФП), який являє собою напівпровідникову структуру, розташовану в об'ємному резонаторі, що є коливальною системою синхронізованого автогенератора [3]. ДФП має два канали - опорний та вимірювальний для реалізації фазового методу виміру довжини. В сучасних високоточних лазерних системах виміру довжини для приймання випромінювання застосовуються фотоелектронні помножувачі (ФЕП) та лавинні фотодіоди (ЛФД). Особливістю режиму роботи приймачів лазерних віддалемірних систем, розроблених у ДНВО "Метрологія", є наявність режиму гетеродування, пов'язаного з тим, що частота міжмодового биття двохчастотного He-Ne лазера на порядок вище верхньої частоти смуги пропускання діодної системи ФЕП, а приймачі на ЛФД, хоч і пропускають такі частоти, але при малих рівнях оптичного сигналу відношення сигнал / шум не дозволяє застосовувати їх у режимі прямого детектування. Приймачі лазерного випромінювання з мікрохвильовим гетеродином параметричного типу, які існували раніше, мали ряд недоліків, такі як : наявність побічних коливань у спектрі вихідного сигналу параметричного помножувача; температурна залежність коефіцієнту стоячої хвилі резонатора фотоприймача, з метою зменшення якої резонатор виробляли низько добротним, що, в свою чергу, вимагало достатньо потужного (приблизно 1 Вт) мікрохвильового сигналу. Для усунення названих недоліків були розроблені та досліджені фотоприймальні прилади, в яких високо добротний об'ємний резонатор є коливальною системою синхронізованого автогенератора.

Була вирішена електродинамічна задача про збудження об'ємного резонатора полу коаксіального типу фотоприймального приладу ( Рис. 3 ) з метою утворення необхідної напруженості та форми мікрохвильового поля у напівпровідниковій структурі в місці приходу лазерного випромінювання.

Рішення проведено методом часткових областей. Розбили резонатор на дві області. Для опису електромагнітного поля в однорідному і ізотропному середовищі використовували електричний вектор Герца -  $\dot{I}_z^e$ . Так как резонатор симетричний відносно осі обертання, електромагнітне поле не залежить від кутової координати  $\psi$ . Вважали, що відсутні сторонні джерела току

$j^{cm} = 0$  і об'ємні заряди  $\rho_- = 0$ . На підставі

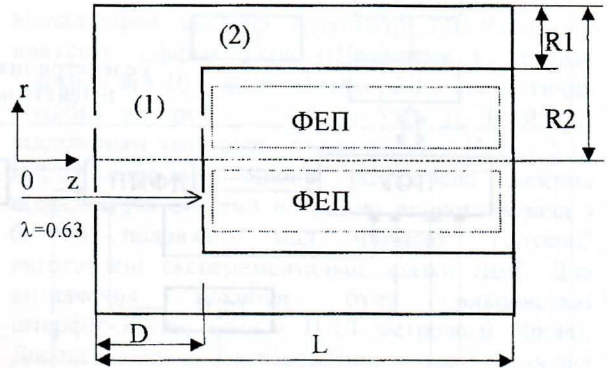


Рис.3. Збудження об'ємного резонатора

загального рішення хвильового рівняння:

$$\nabla^2 \dot{I}_z^e + k^2 \dot{I}_z^e = 0.$$

після перетворень з врахуванням крайових вимог [4] отримали складові електромагнітного поля у зазорі резонатора (область 1) та порожнині резонатора (область 2):

$$\begin{aligned} E_r^1 &= \sum_{n=0}^{\infty} \left[ \left( \frac{n\pi}{d} \right)^2 - k_z^2 \right] D_n J_0(r g_n) \cos \frac{n\pi}{d} z, \\ E_z^1 &= - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{n\pi}{d} g_n D_n J_1(r g_n) \sin \frac{n\pi}{d} z, \\ H_\phi^1 &= - \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{\omega \mu_0} k_z^2 g_n D_n J_1(r g_n) \cos \frac{n\pi}{d} z, \\ g_n^2 &= k_z^2 - \left( \frac{n\pi}{d} \right)^2, \\ E_r^2 &= \sum_{n=0}^{\infty} \frac{p_n^2}{r^2} B_n [J_0(p_n) + C_n N_0(p_n)] \cos \frac{n\pi}{l} z, \\ E_z^2 &= - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{n\pi}{l} \frac{p_n}{r} B_n [J_1(p_n) + C_n N_1(p_n)] \sin \frac{n\pi}{l} z, \\ H_\phi^2 &= \sum_{n=1}^{\infty} i \omega \frac{p_n}{r} E_0 B_n [J_1(p_n) + C_n N_1(p_n)] \cos \frac{n\pi}{l} z, \\ p_n &= r \sqrt{k^2 - \left( \frac{n\pi}{l} \right)^2}, \end{aligned} \quad (1)$$

де  $k = \frac{\omega}{c} \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}$  - хвильове число,  $\omega = 2\pi f$  -

циклічна частота,  $\epsilon_0 = 8,8552 \cdot 10^{-12}$  Ф/м

діелектрична проникність вакууму,

$\mu_0 = 1,256493 \cdot 10^{-6}$  Г/м - магнітна,  $c$  -

швидкість світла в вакуумі.

Для частоти 500 Мгц були розраховані геометричні розміри резонатора виготовлений резонатор по своїм характеристикам опинився близьким до розрахункового ( різниця резонансної частоти від розрахункової не перевищила 5%) [5].

Для того, щоб процес перетворення прийнятого випромінювання не додавав значного



внеску в похибку вимірювання дуже важливо виконання ряду вимог:

- по-перше, в залежності від ділянки, на яку потрапляє випромінення, мають місце значні розбіжності вихідного сигналу з ФЕП. Ось чому, необхідно його сконцентрувати у найменший можливий діаметр и зафіксувати положення на фотокатоді;

- по-друге, необхідно забезпечити високу стабільність мікрохвильового поля, яке впливає на фотокатод;

- по-третє, потрібен облік теплового впливу мікрохвильової потужності на фотокатод.

Для виконання останньої вимоги фотокатод типу S-20 [6] був представлений у вигляді п'яти-шарової круглої пластини з радіусом R (рис.4), яка нагрівається по поверхні  $z = 0$  в області  $r = 0$  потоком мікрохвильової потужності  $P(r)$ .

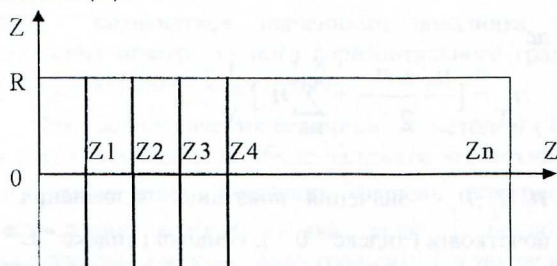


Рис.4. Структура фотокатода типа S-20.

Припускаємо, що потік  $P(r)$  змінюється за законом Гауса. Поверхня пластини  $r = R$  вважається теплоізолюваною, а через поверхню  $z = z_5 = z_n$  відбувається теплообмін з навколишнім середовищем за законом Ньютона-Ріхмана. Для обчислення нестационарного температурного поля запишемо рівняння теплопровідності:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} [r \lambda_i(z) \frac{\partial t}{\partial r}] + \frac{\partial}{\partial z} [\lambda_i(z) \frac{\partial t}{\partial z}] = C_v(z) \frac{\partial t}{\partial \tau} \quad (2)$$

і крайові умови:

$$\begin{aligned} \lambda_i^{(1)} \frac{\partial t}{\partial z} &= -n_0 e^{-k_0 r^2} = n(r), z = 0; \\ \lambda_i^{(n)} \frac{\partial t}{\partial z} &= -\alpha_n t, z = z_n; \\ \frac{\partial t}{\partial r} &= 0, r = R, t = 0, \tau = 0, \end{aligned} \quad (3)$$

де  $t = \theta - \theta_0$ ,  $\theta$  - температура фотокатода,  $\theta_0$  - температура зовнішнього середовища,  $\lambda_i(z)$  -

коефіцієнт теплопровідності,  $C_v(z)$  - об'ємна теплоємність,  $\alpha_n$  - коефіцієнт тепловіддачі з верхні  $z = z_n$ ,  $n = 5$  - кількість шарів багатошарової пластини. Застосував послідовно до рівняння (2) і крайових умов (3) кінцеве інтегральне перетворення по  $\rho = r/R$ ,

$\tilde{t} = \int_0^1 t(\rho) I_0(\varepsilon \rho) d\rho$  і перетворення Лапласа по критерію Фур'є

$$F_0 = \frac{a_1 r}{R^2}, \tilde{t} = \int_0^\infty \tilde{t} \exp(-\int F_0) dF_0, \quad \text{дістали}$$

диференціальне рівняння. Розв'язав яке, отримали температурне поле п'ятишарової пластини фотокатода (4).

$$\begin{aligned} t(\rho, \xi, F_0) &= R q_0 \{ \theta_1(\xi) + \sum_{m=1}^n \theta_4(\xi, \mu_m) \exp(-\mu_m^2 F_0) + \\ &+ 2 \sum_{i=1}^n \frac{I_0(\varepsilon_i \rho)}{I_0^2(\varepsilon_i)} [ \theta_2(\xi, \varepsilon_i) + \sum_{m=1}^n \theta_3(\xi, \varepsilon_i, \mu_m) \exp(-\mu_m^2 F_0) ] \}, \end{aligned} \quad (4)$$

де  $\theta_1(\xi), \theta_2(\xi, \varepsilon_i), \theta_3(\xi, \varepsilon_i, \mu_m), \theta_4(\xi, \mu_m)$  мають громіздкий вигляд і не наводяться. Результати чисельних розрахунків (4) наведені в [7].

На підставі проведених досліджень розроблених двоканальних приймальних приладів автогенераторного типу було встановлено:

- підвищення добротності резонатора з одночасним забезпеченням високої стабільності і монохроматичності сигналу мікрохвильового синхронізованого генератора дало змогу на порядок знизити потужність гетеродину (склала 60 мвт) без зниження рівня вихідного сигналу;
- значно зменшилась неоднорідність температурного поля на поверхні та в глибині фотокатода;
- покращились фазові співвідношення - середньоквадратичне відхилення фази результуючого сигналу не перевищує  $30''$ ;
- було досягнуто сумарної абсолютної інструментальної похибки виміру довжини, яка не перевищила  $\pm 25$  мкм.

Слід визначити, що в разі застосування ЛФД наведений режим роботи дозволить поряд з спрощенням наступних вузлів підвищити відношення сигнал / шум на виході фотоприймача у порівнянні з режимом прямого фотодетектування лазерного випромінювання. Він є і найбільш ефективним засобом боротьби з локальним про



боєм, як основною причиною обмеження підсилення та збільшення рівня шумів.

РІВНЯННЯ ВИМІРУ ППЛ-10 І ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКА ЗАЛОМЛЕННЯ

Відомо, що значний вклад у повну похибку вимірювання довжини додає визначення показника заломлення. Розглянемо рівняння виміру ППЛ-10:

$$D = MN + A + P, \tag{5}$$

де:

$$M = \frac{I}{2nF} \text{ - масштаб;}$$

$N$  - ціле число масштабів укладених на базисі;

$A = K - C$  - дробова частина масштабу;

$K$  - результат виміру в режимі "калібровка";

$I$  - результат виміру в режимі "вимір";

$P$  - поправка приладу;

$D$  - обчислена довжина базису;

$n_0$  - показник заломлення у світловоди;

$\bar{n}$  - середньо інтегральне значення групового показника заломлення повітря. Величина  $\bar{n}$  в загальному випадку визначається криволінійним інтегралом

$$\bar{n} = \frac{1}{L} \int_0^L n(\vec{r}(\sigma)) d\sigma, \tag{6}$$

де інтегрування ведеться вздовж променевої траєкторії, яка з'єднує кінцеві точки лінії, що вимірюється ( $\sigma$  - променева координата;  $L$  - довжина траєкторії;  $\vec{r}$  - радіус-вектор). Променева траєкторія  $\vec{r}(\sigma)$  у неоднорідній земній атмосфері задовольняє рівнянню

$$\frac{d}{d\sigma} (n_{tm} \frac{d\vec{r}}{d\sigma}) = \nabla n_{tm}, \tag{7}$$

де  $n_{tm}$ ,  $\nabla n_{tm}$  - відповідно фазовий показник заломлення повітря та його градієнт.

Точні методи розв'язання рівняння (7) та обчислення інтеграла (6) у нинішній час невідомі.

Наближеними методами визначення величини  $\bar{n}$  у однохвильовій геодезичній віддалеметрії, що найбільш широко використовуються, є різноманітні модифікації методу багатоточкової апроксимації [ 8 ] і геодезичного методу [ 9 ].

Проте метод багатоточкової апроксимації при високоточних вимірах вимагає розміщення апаратури для вимірювань метеорологічних параметрів атмосфери в чималій кількості проміжних точок

траси ( що є економічно недоцільним та не завжди технічно здійснимим - особливо при вимірах на геодинамічних полігонах у гірській місцевості. Метод же [ 9 ] не у повній мірі враховує ефекти пов'язані з тримірною структурою поля показника заломлення повітря у приземному шарі. Враховуючи це, нами використовувався метод інтегрального променевого наближення (ІПН), що базується на представленні інтеграла (6) квадратною формулою Ейлера-Маклорена [ 10 ]. Після переходу від променевих координат до звичайних декартових координат рівняння вимірювань цього методу можна подати у вигляді

$$\bar{n} = n_T - \frac{L}{12 N^2} [ g_{\perp L} \sin z_L - g_{BL} \cos z_L - g_{\perp 0} \sin z_0 - g_{B0} \cos z_0 ], \tag{8}$$

де

$$n_T = [ \frac{n_0 + n_L}{2} + \sum_{i=1}^{N-1} n_i ] \frac{1}{N}; \tag{9}$$

$n_0, n_L, n_i$  - значення показника заломлення у початковій ( індекс " 0 " ), кінцевій ( індекс " L " ) і деякої проміжної ( індекс " i " ) точках траси;  $N$  - число окремих частин, на які розбивається траса, що вимірюється, проміжними точками вимірювань показника заломлення;

$g_{\perp 0}, g_{\perp L}, g_{B0}, g_{BL}$  - відповідно горизонтальна та вертикальна проєкції градієнта показника заломлення у кінцевих точках траси;  $z_0, z_L$  - видимі зенітні кути, тобто кути між видимим напрямком з однієї кінцевої точки траси у іншу ( протилежну ) та вертикаллю.

Таким чином, практична реалізація методу ІПН у загальному випадку пов'язана з вимірюваннями метеорологічних параметрів атмосфери у ряді точок траси ( з метою визначення  $n_0, n_L, n_i$  для  $i=1,2 \dots N$ ,  $g_{\perp 0}, g_{\perp L}, g_{B0}, g_{BL}$  ), а також з вимірюваннями видимих зенітних кутів  $z_0, z_L$  в кінцевих точках траси.

Якщо знехтувати останнім доданком у правій частині ( 8 ), отримаємо рівняння вимірювань ( 9 ) звичайного методу багатоточкової апроксимації; при врахуванні останнього доданка у правій частині ( 8 ) коли  $N=1$  отримаємо рівняння вимі-



рювань, яке еквівалентне рівнянню вимірювань геодезичного метода [ 9 ].

Отже, метод ПН у загальному випадку уточнює відомий метод багатоточкової апроксимації та узагальнює геодезичний метод на випадок тримірної-неоднорідної земної атмосфери. Залежно від конкретних умов вимірювань та наявних засобів вимірювальної техніки можна вибрати найбільш оптимальний варіант реалізації методу (8). Наприклад, якщо траса проходить над достатньо рівною підстигаючою поверхнею, а засоби куткових вимірювань відсутні, можна, обравши достатньо велике число  $N$ , знехтувати останнім доданком у правій частині ( 8 ) і користуватися для визначення  $\bar{n}$  рівнянням (9). Для достатньо коротких, близьких до горизонтальних, трас в рівнянні ( 8 ) можна прийняти  $z_0 = z_L = \pi/2$ ,  $N=1$  - при цьому величина  $\bar{n}$  буде визначатися значеннями показника заломлення повітря та його горизонтального градієнта у кінцевих точках траси.

Похибка визначення величини  $\bar{n}$  методом ( 8 ) у загальному випадку буде залежати від похибки  $m_n$  визначення локальних значень показника заломлення повітря ( яка задає і похибки визначення складових його градієнту ), а також від похибок  $m_z$  визначення видимих зенітних кутів у кінцевих точках траси. Аналіз показує, що для  $N = 1...3$  та звичайних для геодезичних вимірювань похибок  $m_n \approx 10^{-7}$ ,  $m_z \approx 2''...4''$  можна забезпечити похибку  $m_{\bar{n}} \leq 10^{-7}$  визначення середньо інтегрального показника заломлення повітря  $\bar{n}$  на трасах довжиною  $L = 1...3$  км, якщо для визначення градієнту використовувати згладжуючі процедури у рамках методу кінцевих різниць при оптимальному виборі просторової бази для визначення градієнту [8,11]. При цьому оптимум повинен визначатися за умови мінімуму сумарної похибки згладжуючої процедури, яка включає складову, пов'язану з переходом від неперервної функції, що визначає похідну, до її дискретного аналога, а також складову, обумовлену неточністю вихідних даних [11]. Таким чином, розроблена в ДНВО "Метрологія" лазерна віддалемірна система ППЛ-10 і методики вимірювань можуть бути основою системи передачі розміру одиниці довжини - метра на геодинамічних полігонах України.

## Література

- 1.Кравченко Н.И. Метрологическое обеспечение линейных измерений на геодинамических полигонах Украины // Тр. III Орловской междунар. конференции / АН Украины, Киев, 1993.-с.312-313.
- 2.Неежмаков П.И., Погорелов О.Д. Системы стабилизации частоты межмодовых биений He-Ne и He-Cd лазеров // Тез. док. II Всесоюзной НТК "Метрологическое обеспечение измерений частотных и спектральных характеристик излучения лазеров", Харьков, 9-11 октября 1990,-с.190-191.
- 3.Кравченко Н.И., Лепехин В.Н., Неежмаков П.И., Оробинский А.Н. Автогенераторный способ возбуждения, модуляции и приема лазерных пучков // Тез. док. II ВНТК "Метрологическое обеспечение измерений частотных и спектральных характеристик излучения лазеров", Харьков, 9-11 октября 1990,-с.32.
- 4.Кравченко Н.И., Оробинский А.Н., Фенченко В.Н. Нелинейно-оптические эффекты в электрооптических модуляторах лазерных пучков.// Журнал в журнале, "Радиотехника", 1995г.,N4.-с.84-89.
- 5.Неежмаков П.И., Кравченко Н.И., Погорелов О.Д. Двухфотонные приемные устройства автогенераторного типа // Тез. док. 4-й Крымской конф. "СВЧ техника и спутниковый прием", Севастополь, 26-28 сентября 1994, Т2:-с.396-399.
- 6.Кондрашев В.Е. Оптика фотокатодов. М.: Наука, 1976.-207с.
- 7.Неежмаков П.И. Расчет температурных полей в фотокатоде фотоэлектронного умножителя при воздействии на него потока микроволновой мощности // Сб. н. тр. ВНИИМ "Вопросы разработки дальномерных систем и их метрологическое обеспечение". Л.: 1990,-с.57-64.
- 8.Кравченко Н.И., Прокопов А.В. и др. Методика измерений показателя преломления воздуха на горизонтальных трассах приземного слоя тропосферы // Тез. док. III ВНТК "Метрология в дальнометрии", Харьков, 1988.-с.228-229.
- 9.Островский А.Л., Джуман Б.М., Заболоцкий Ф.Д. и др. Учет атмосферных влияний на астро-геодезические измерения. М.: Недра, 1990.-235с.
- 10.Бражниченко А.В., Прокопов А.В., Ремаев Е.В. Новые методы учета влияния земной атмосферы на точность дальномерных измерений // Измерительная техника, 1990, N10, с.15-17.
- 11.Прокопов А.В., Ремаев Е.В. Градиентный метод определения среднеинтегрального показателя преломления воздуха // Тез. доп. I Української

M.Kravchenko, P.Neejmakov, O.Prokopov

THE LASER SYSTEM WITH BRIGHTEST ACCURACY FOR LENGTH MEASUREMENTS ON THE  
GEODYNAMIC POLYGONS OF UKRAINE

Summary

The State Scientific – industrial union “Metrology” has elaborated the laser range finder system with highest accuracy PPL-10 and measuring methods which can be the basis for the transfer system of the length unit of measurement – metre on the Ukrainian geodynamic polygons.

М.Кравченко, П.Неежмаков, О.Прокопов

ЛАЗЕРНАЯ ДАЛЬНОМЕРНАЯ СИСТЕМА ВЫСШЕЙ ТОЧНОСТИ ДЛЯ ЛИНЕЙНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ НА  
ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПОЛИГОНАХ УКРАИНЫ

Резюме

Государственным научно – производственным объединением “Метрология” разработана лазерная дальномерная система высшей точности ППЛ-10 и методика измерений, которые могут быть основой системы передачи размера единицы длины – метра на геодинамических полигонах Украины.