



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **124943** (13) **U**
(51) МПК (2018.01)
G01V 1/00
G01V 1/28 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2017 11548	(72) Винахідник(и): Нагорний Володимир В'ячеславович (UA)
(22) Дата подання заявки: 27.11.2017	(73) Власник(и): СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 25.04.2018	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.04.2018, Бюл.№ 8	

(54) СПОСІБ ДОВГОСТРОКОВОГО ПРОГНОЗУВАННЯ КООРДИНАТ ЕПІЦЕНТРУ НАСТУПНОГО ЗЕМЛЕТРУСУ

(57) Реферат:

Спосіб довгострокового прогнозування координат епіцентру наступного землетрусу, при якому проводять спостереження за поширенням сейсмічних по природі пружних хвиль за допомогою сейсмографів з реєстрацією цих хвиль по декількох сейсмоприймачах. Реєстрацію сейсмічних хвиль проводять протягом всього спостережуваного періоду синхронно за всіма розташованими на сейсмонебезпечній території сейсмоприймачами, вимірюють ними амплітуди сейсмічних хвиль, фіксують час їх реєстрації та за результатами вимірювань для кожного з сейсмоприймачів складають часовий ряд "амплітуда хвилі - час її реєстрації", сукупність яких піддається апроксимації, як за часом спостереження, так і за кількістю сейсмоприймачів, шляхом мінімізації функціонала U для визначення прогнозованих координат епіцентру землетрусу.

UA 124943 U

Корисна модель належить до геофізики, зокрема до сейсмології, і призначена для довгострокового прогнозування координат епіцентру наступного землетрусу.

Відомий спосіб визначення координат епіцентру землетрусу, який включає реєстрацію не менше ніж трьома сейсмоприймачами і подальшу обробку сейсмічних сигналів, що являють собою або об'ємні поздовжні (P) і поперечні (S), або поверхневі сейсмічні хвилі Лява (LQ) і Релея (LR), що надходять з вогнища землетрусу, з подальшим визначенням різниці часу приходу порівнюваних фаз S - P або LQ-LR хвиль і обчисленням на цій основі координат епіцентру (Горная энциклопедия. - М.: Сов. Энциклопедия. - Т. 2. - 1985. - С. 367)

Недолік цього способу визначається природою сейсмічних хвиль, величина яких, залежачи від інтенсивності механічних деформацій в зонах під землею, де ці хвилі генеруються, досягає максимуму одночасно з досягненням піку деформацій, що спостерігається якраз в момент настання землетрусу. У цьому випадку відношення сигнал/шум для сейсмічних хвиль найбільше, що дозволяє реєструвати хвилі з мінімальною похибкою, проте при цьому, на жаль, втрачається оперативність надходження прогнозу, тому що спосіб дозволяє визначити координати епіцентру землетрусу постфактум.

Найближчим аналогом є спосіб сейсморозвідки, який включає спостереження за допомогою сейсмографів поширення в гірських породах штучно порушуваних вибухами або ударними і вібраційними генераторами сейсмічних по природі пружних хвиль з реєстрацією цих хвиль по декількох сейсмоприймачах (Гурвич И.И. Сейсморозведка. – М.: Недра, 1975. - С. 188-190).

Недоліком цього способу є обмеження географії контрольованих сейсмічно небезпечних територій, яке обумовлено місцем розміщення сейсмографа і дальністю його дії, й неможливістю прогнозування подальшого розвитку сейсмічних подій, що можливо, як відповідь на локальне штучне порушення рівноваги у природі.

В основу корисної моделі поставлена задача удосконалення способу довгострокового прогнозування координат епіцентру наступного землетрусу шляхом довгострокового спостереження за допомогою декількох сейсмоприймачів амплітуд сейсмічних хвиль, які генеруються в місці розташування майбутнього епіцентру прогнозованого землетрусу, що дозволяє з високою точністю і достовірністю завчасно прогнозувати координати епіцентру цього землетрусу та своєчасно вжити необхідних заходів з метою мінімізації або, взагалі, виключення можливих людських жертв на території, яка знаходиться поблизу майбутнього епіцентру.

Поставлена задача вирішується тим, що спосіб довгострокового прогнозування координат епіцентру наступного землетрусу, який включає спостереження за поширенням сейсмічних по природі пружних хвиль за допомогою сейсмографів з реєстрацією цих хвиль по декількох сейсмоприймачах, згідно з корисною моделлю, реєстрацію сейсмічних хвиль проводять протягом всього спостережуваного періоду синхронно за всіма розташованими на сейсмонебезпечній території сейсмоприймачами, вимірюють ними амплітуди сейсмічних хвиль, фіксують час їх реєстрації та за результатами вимірювань для кожного з сейсмоприймачів складають часовий ряд "амплітуда хвилі - час її реєстрації", сукупність яких піддається апроксимації як за часом спостереження, так і за кількістю сейсмоприймачів, шляхом мінімізації функціонала U для визначення прогнозованих координат епіцентру землетрусу

$$U = \sum_{i=2}^m \sum_{j=1}^n \left\{ \left(A_j(t_i) / A_1(t_i) \right)^2 - \left(R_{1i} / R_{ji} \right)^2 \cdot \exp \left[k \cdot \left(R_{1i} - R_{ji} \right) \right] \right\}^2, \quad (1)$$

де: $A_1(t_i)$, $A_j(t_i)$ - амплітуди сейсмічних хвиль (складові часового ряду), зареєстровані в i-ті моменти часу, відповідно, першим (опорним) і кожним (j-тим) з сейсмоприймачів; k - коефіцієнт загасання сейсмічної хвилі; m - кількість членів часового ряду (число вимірювань); n - число сейсмоприймачів, R_{1i} , R_{ji} - відстань до епіцентру, відповідно, від першого (опорного) і від кожного (j-того) з сейсмоприймачів, при цьому R_j визначають за формулою:

$$R_j = \arctg \left\{ \frac{\sqrt{(\cos \varphi_E \sin \Delta \lambda)^2 + [\cos \varphi_j \sin \varphi_E - \sin \varphi_j \cos \varphi_E \cos \Delta \lambda]^2}}{\sin \varphi_j \sin \varphi_E + \cos \varphi_j \cos \varphi_E \cos \Delta \lambda} \right\} \cdot 6371 \text{ км}, \quad (2)$$

де φ_j , φ_E - геодезична широта місця розташування, відповідно, сейсмоприймача і епіцентру; $\Delta \lambda = \lambda_E - \lambda_j$ - різниця геодезичної довготи місця розташування епіцентру і сейсмоприймача.

Виконання способу довгострокового прогнозування координат епіцентру наступного землетрусу в сукупності з усіма суттєвими ознаками, включаючи відмінні, дозволяє:

- протягом усього періоду спостереження (періоду, що відокремлює попередній землетрус від наступного) завчасно прогнозувати з високою точністю і достовірністю координати епіцентру наступного землетрусу, регулярно підтверджувати прогноз, а в разі дрейфу координат, оперативно і своєчасно уточнювати їх значення;

5 - своєчасно вжити необхідні запобіжні організаційні заходи, що мінімізують або, взагалі, виключають можливі людські жертви на сейсмічно небезпечній території, що знаходиться під впливом наступного землетрусу.

Суть методу пояснюється кресленнями.

10 На фіг. 1 показано місце розташування на сейсмонезбезпечній території 6-ти сейсмоприймачів з зазначенням фактичних і прогнозованих координат епіцентру землетрусу, що стався в Японії 11 березня 2011. На фіг. 2 - зміна протягом періоду спостереження прогнозу геодезичної широти N° епіцентру даного землетрусу з зазначенням її фактичної величини. На фіг. 3 - зміна протягом періоду спостереження прогнозу геодезичної довготи E° епіцентру даного землетрусу з зазначенням її фактичної величини. На фіг. 4 - відстань між прогнозованим і фактичним місцем розташування епіцентру землетрусу.

Спосіб здійснюється наступним чином.

Приклад

20 Пропонований спосіб довгострокового прогнозування координат епіцентру наступного землетрусу розглянуто на прикладі ретроспективного прогнозування координат епіцентру руйнівного землетрусу, що стався в Японії 11 березня 2011 року. Координати 6-ти сейсмоприймачів, розташованих на території, що зазнала найбільшого впливу даного землетрусу, наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Координати сейсмоприймача	Кодове позначення і порядковий номер сейсмоприймача					
	TSK	HRO	KSK	KSN	TYS	IYG
	1	2	3	4	5	6
північна широта, N°	36.21	37.27	38.26	38.97	39.58	40.12
східна довгота, E°	140.08	140.87	140.58	141.53	141.59	141.58

25 Значення амплітуд сейсмічних хвиль, які синхронно зареєстровані в спостережуваний період (з жовтня 2004 року по березень 2011 року), наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Час реєстрації сигналу T, год.	Кодове позначення, порядковий номер сейсмоприймача і амплітуда сейсмічної хвилі, зареєстрованої з його допомогою A, мкм					
	TSK	HRO	KSK	KSN	TYS	IYG
	1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6	7
2004.102	2.287	23.053	2.244	12.734	20.021	19.107
2004.438	1.289	42.723	25.205	41.108	32.654	25.256
2004.578	1.725	23.076	1.194	21.693	29.843	22.423
2004.748	1.274	31.997	7.302	22.827	7.297	92.452
2004.897	1.298	5.216	29.331	7.260	44.184	25.997
2005.081	3.169	2.553	14.885	11.418	15.470	13.372
2005.285	2.973	27.705	17.354	7.343	17.435	23.056

1	2	3	4	5	6	7
2005.605	1.369	19.057	32.707	7.209	49.167	21.673
2005.804	1.159	33.559	2.602	22.065	2.049	20.664
2006.285	1.240	32.949	14.981	30.990	37.394	13.939
2006.426	2.536	30.132	17.812	10.350	6.793	14.122
2006.730	2.595	24.268	14.198	2.054	17.439	15.160
2007.301	2.509	34.737	16.697	22.715	78.744	49.447
2007.515	1.128	29.514	21.166	93.389	5.660	3.197
2007.667	2.427	12.828	16.873	44.334	29.865	21.127
2007.818	1.671	2.161	19.007	11.433	24.498	21.923
2008.424	2.748	13.637	11.654	12.367	20.891	31.022
2008.621	2.615	3.292	24.564	23.819	8.523	12.970
2008.773	1.072	10.551	2.312	12.537	10.392	9.391
2008.913	0.247	17.611	25.653	5.727	3.025	11.988
2009.106	2.368	20.147	22.334	23.639	23.342	3.926
2009.262	2.287	18.649	4.866	3.650	4.519	15.291
2009.773	1.289	24.142	19.650	12.383	31.108	21.044
2009.972	1.725	34.284	21.282	21.232	42.111	6.339
2010.096	1.274	29.081	15.774	33.118	9.827	12.969
2010.605	1.441	17.183	17395.11	21.582	12.749	17.336
2010.919	1.329	17.409	17397.77	17.615	38.635	13.847
2011.217	2.268	17.509	17401.65	29.935	42.752	24.382
2011.233	1.718	19.320	342.594	28.295	40.889	24.893
2011.270	2.155	36.286	52367.76	678.573	45.979	24.360
2011.285	4.746	34.498	1587.047	25.682	49.891	24.997

Обчислення геодезичних координат (північної широти N° , і східної довготи E°) здійснювалося шляхом мінімізації функціонала (1). У процесі мінімізації в функціонал підставлялися амплітуди сейсмічних хвиль (табл. 3) і геодезичні координати сейсмоприймачів (табл. 1), за допомогою яких проводилися вимірювання. За результатами мінімізації визначалися шукані координати епіцентру майбутнього землетрусу (фіг. 1). Зміну в процесі спостережуваного періоду прогнозу цих координат наведено на фіг. 2 і 3. Там же в вигляді прямих, паралельних осі часу, нанесені фактичні координати епіцентру. На фіг. 4 показано зміну протягом спостережуваного періоду відстані між точкою фактичного епіцентру і прогнозованою точкою його знаходження. У табл. 3 наведені дані статистичної обробки результатів прогнозування, що характеризують точність і ступінь повторюваності протягом спостережуваного періоду прогнозування координат землетрусу, яке відбулося в Японії 11 березня 2011 року.

Таблиця 3

Прогнозований параметр

Координати епіцентру								Відстань між фактичним і прогнозованим епіцентрами L, км		
Широта N				Довгота E						
N_Φ°	$\bar{N}_{\text{ПР}}^\circ$	$\Delta \%$	σ°	E_Φ°	$\bar{E}_{\text{ПР}}^\circ$	$\Delta, \%$	σ°	$\sigma, \text{ км}$	ν	$L_{\text{ус}}, \text{ км}$
38.32	38.31	0.03	0.026	142.0	141.9	0.05	0.16	18.3 ^{*)}	0.40 ^{*)}	45.74 ^{*)}
								14.4 ^{**)}	0.35 ^{**)}	40.7 ^{**)}

Примітка:

^{*)} - дані отримані за результатами прогнозування протягом усього періоду спостереження (січень 2004 - початок березня 2011 року);

^{**)} - дані отримані за результатами прогнозування в період з січня 2009 по початок березня 2011 року.

3 табл. 3 впливає, що пропонувані спосіб довгострокового прогнозування координат епіцентру наступного землетрусу забезпечує стійке (середньоквадратичне відхилення прогнозованих координат σ становить 0.026-0.16°, табл. 3) і з мінімальною похибкою ($\Delta=0.03-0.05\%$, фіг. 1, 2, 3 і табл. 3) задовго (в прикладі за сім років) до наступного землетрусу прогнозування координати його епіцентру. Це різко відрізняється від діючих методів прогнозування, які дозволяють визначити координати епіцентру землетрусу тільки постфактум.

Наведена на фіг. 4 відстань між фактичним ($N_{\phi}^{\circ}, E_{\phi}^{\circ}$) і прогнозованим ($\bar{N}_{\Gamma P}^{\circ}, \bar{E}_{\Gamma P}^{\circ}$) місцем розташування епіцентру відповідає за величиною загальноприйнятої точності апостерорного визначення епіцентру землетрусу, яке вже сталося.

Так, згідно з (Рихтер Ч.Ф. Элементарная сейсмология - 1963. - С. 292-293) найбільша точність (близько ± 10 км) може бути досягнута при наявності точних і численних сейсмограм найближчих станцій. Точність ± 50 км може бути отримана при наявності численних надійних записів далеких станцій, що знаходяться в різних напрямках від епіцентру. За даними однієї станції рідко вдається визначити координати епіцентру з точністю, що перевищує $\pm (200-250)$ км.

Звертає на себе увагу підвищення точності визначення координат протягом останніх двох років, що передують землетрусу (з січня 2009 р. по березень 2011 р. р.), середня величина відстані зменшилася з 45.7 км до 40.7 км, а середньоквадратичне відхилення прогнозу відстані σ - з 18.35 км до 14.4 км.

Таким чином, розглянутий приклад наочно свідчить про те, що пропонувані спосіб довгострокового прогнозування координат епіцентру наступного землетрусу дозволяє нарешті вирішити завдання прогнозування координат землетрусів задовго до моменту їх настання, що, як раніше здавалося, взагалі, не піддається розв'язанню.

25 ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

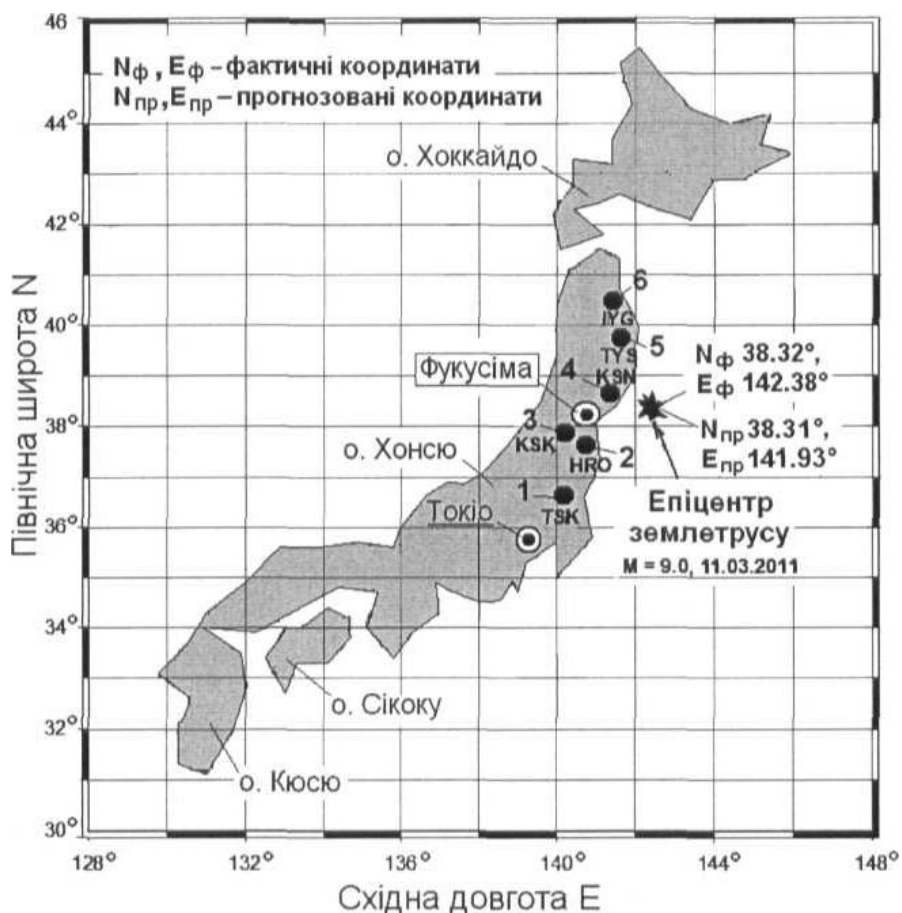
Спосіб довгострокового прогнозування координат епіцентру наступного землетрусу, при якому проводять спостереження за поширенням сейсмічних по природі пружних хвиль за допомогою сейсмографів з реєстрацією цих хвиль по декількох сейсмоприймачах, який **відрізняється** тим, що реєстрацію сейсмічних хвиль проводять протягом всього спостережуваного періоду синхронно за всіма розташованими на сейсмонебезпечній території сейсмоприймачами, вимірюють ними амплітуди сейсмічних хвиль, фіксують час їх реєстрації та за результатами вимірювань для кожного з сейсмоприймачів складають часовий ряд "амплітуда хвилі - час її реєстрації", сукупність яких піддається апроксимації, як за часом спостереження, так і за кількістю сейсмоприймачів, шляхом мінімізації функціонала U для визначення прогнозованих координат епіцентру землетрусу

$$U = \sum_{i=2}^m \sum_{j=1}^n \left\{ \left(A_j(t_i) / A_1(t_i) \right)^2 - \left(R_{1i} / R_{ji} \right)^2 \cdot \exp \left[k \cdot \left(R_{1i} - R_{ji} \right) \right] \right\}^2,$$

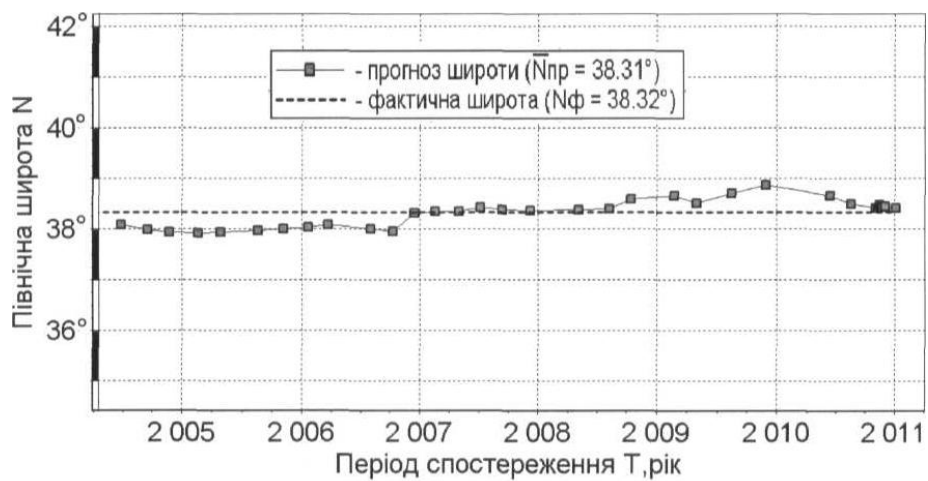
де: $A_1(t_i)$, $A_j(t_i)$ - амплітуди сейсмічних хвиль (складові часового ряду), зареєстровані в i -ті моменти часу, відповідно, першим (опорним) і кожним (j -тим) з сейсмоприймачів; k - коефіцієнт загасання сейсмічної хвилі; m - кількість членів часового ряду (число вимірювань); n - число сейсмоприймачів, R_{1i} , R_{ji} - відстань до епіцентру, відповідно, від першого (опорного) і від кожного (j -того) з сейсмоприймачів, при цьому R_j визначають за формулою:

$$R_j = \operatorname{arctg} \left\{ \frac{\sqrt{(\cos \varphi_E \sin \Delta \lambda)^2 + [\cos \varphi_j \sin \varphi_E - \sin \varphi_j \cos \varphi_E \cos \Delta \lambda]^2}}{\sin \varphi_j \sin \varphi_E + \cos \varphi_j \cos \varphi_E \cos \Delta \lambda} \right\} \cdot 6371 \text{ км},$$

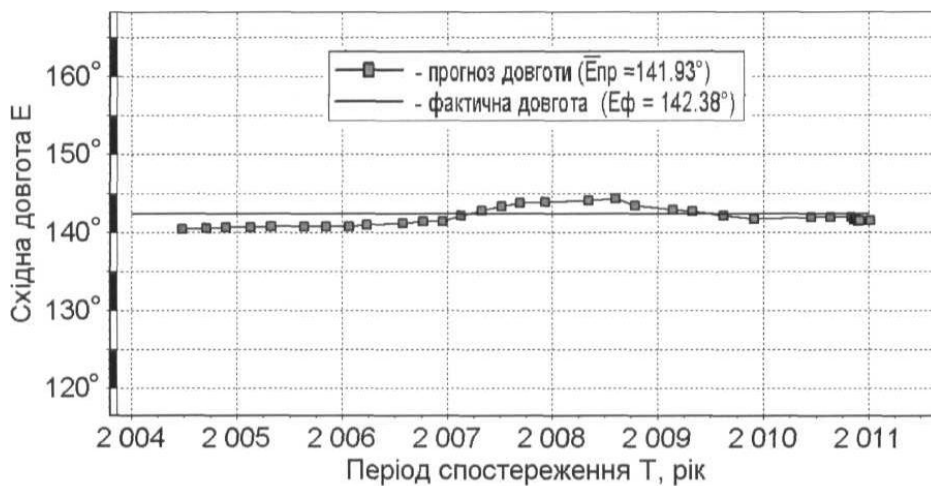
де φ_j , φ_E - геодезична широта місця розташування, відповідно, сейсмоприймача і епіцентру; $\Delta \lambda = \lambda_E - \lambda_j$ - різниця геодезичної довготи місця розташування епіцентру і сейсмоприймача.



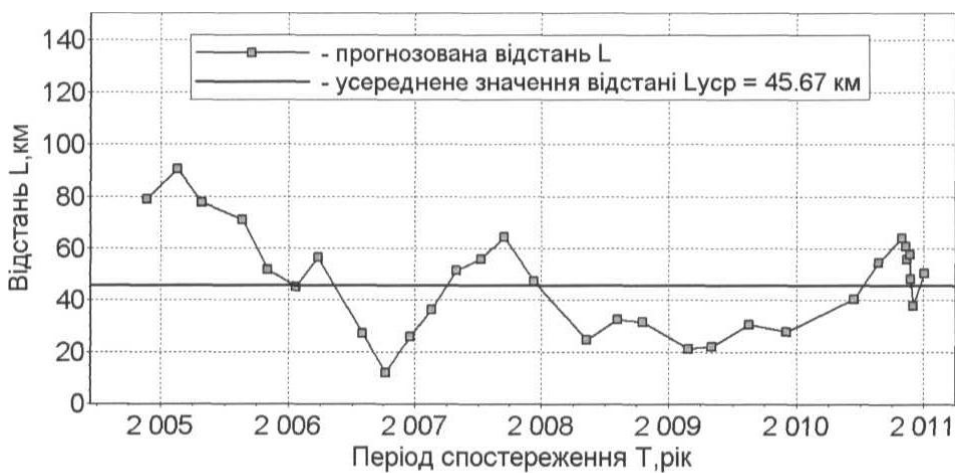
Фіг. 1



Фіг. 2



Фіг. 3



Фіг. 4

Комп'ютерна верстка В. Мацело

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601