



УКРАЇНА

(19) UA (11) 118730 (13) C2  
(51) МПК  
G01B 15/06 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО  
ЕКОНОМІЧНОГО  
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ  
УКРАЇНИ

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД**

(21) Номер заявки: **а 2017 10596**  
(22) Дата подання заявки: **01.11.2017**  
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: **25.02.2019**  
(41) Публікація відомостей про заяву: **25.05.2018, Бюл.№ 10**  
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: **25.02.2019, Бюл.№ 4**  
(72) Винахідник(и):  
**Полярус Олександр Васильович (UA),  
Поляков Євген Олександрович (UA),  
Лебединський Андрій Володимирович (UA),  
Кириченко Ірина Володимирівна (UA)**  
(73) Власник(и):  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ  
АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ  
УНІВЕРСИТЕТ,  
вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002 (UA),  
Полярус Олександр Васильович,  
вул. Наталії Ужвій, 86, кв. 81, м. Харків,  
61195 (UA),  
Поляков Євген Олександрович,  
вул. Тракторобудівників, 102-а, кв. 57, м.  
Харків, 61118 (UA),  
Лебединський Андрій Володимирович,  
вул. Державінська, 2, кв. 310, м. Харків,  
61001 (UA),  
Кириченко Ірина Володимирівна,  
вул. Тимурівців, 5-а, м. Харків, 61054 (UA)**

(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:  
Сергеев А.А. Методика экспериментальной оценки динамических воздействий подвижной нагрузки на пролетные строения автодорожных мостов: автореф. дис. канд. техн. наук: 08.05.2007 / А.А. Сергеев; АО «Научно-исследовательский институт транспортного строительства» - Москва, 2007  
Полярус А. В. Модель транспортного потока по мосту как основа определения допустимой нагрузки на мост для выполнения требований охраны труда / А. В. Полярус, В. В. Барчан // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. - 2012. - Вып. 59. - С. 214-218  
Барчан В. В. Синтез оптимальної системи вимірювання коефіцієнта динамічності мостових споруд / В. В. Барчан // Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ" : зб. наук. пр. Темат. вип.: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2012. – № 33. – С.49-55.  
Визначення граничного значення коефіцієнта динамічності мостової споруди як показника, що визначає вимоги її безпечної експлуатації/ О. В. Полярус, В. В. Барчан // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. - 2012. - Вып. 59. - С. 219-222.  
Гавриш І. С. Дослідження точності неконтактних випірювань коефіцієнта динамічності мостових споруд/ І. С. Гавриш// Метрологія-2014 – Харків – 2014. – С. 327-329.

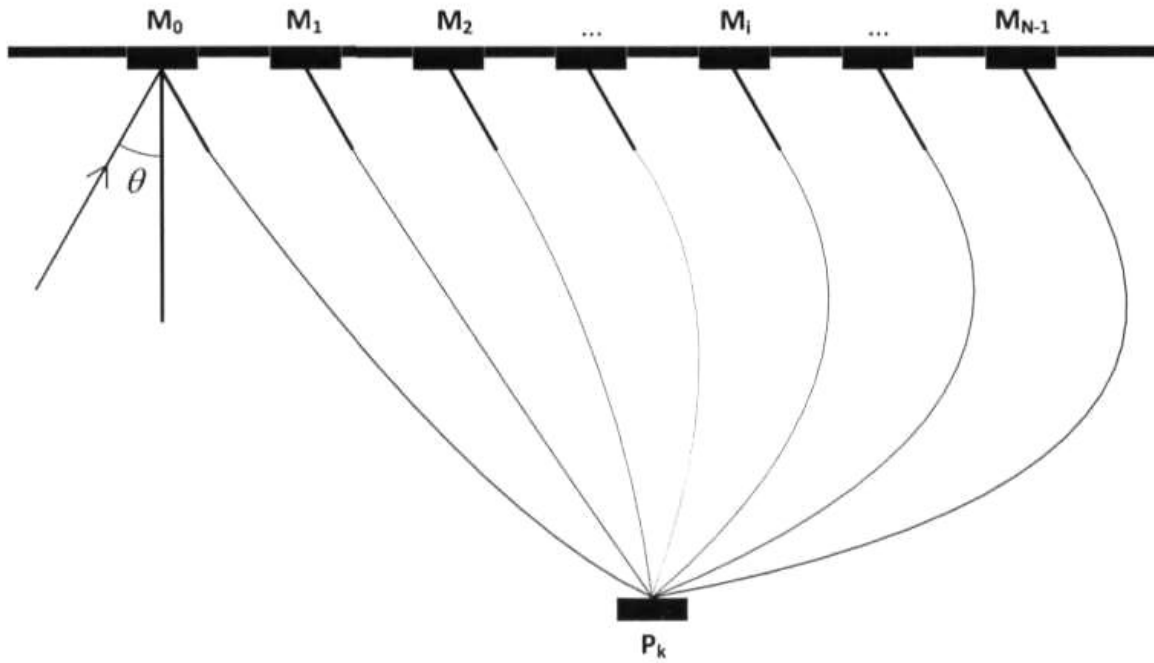
**(54) СПОСІБ ДИСТАНЦІЙНОГО ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ДИНАМІЧНОСТІ І ФОРМИ ДЕФОРМОВАНОЇ ПОВЕРХНІ МОСТОВИХ СПОРУД АБО ІНШИХ ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ ОБ'ЄКТІВ**

**(57) Реферат:**

Заявлений винахід належить до дистанційних способів визначення коефіцієнта динамічності і форми деформованої поверхні великогабаритних об'єктів, наприклад мостових споруд, будівель, об'єктів машинобудування тощо.  
Запропонований спосіб передбачає встановлення на великогабаритному об'єкті лінійки вторинних випромінювачів, які під впливом додаткової електромагнітної хвилі перетворюються в лінійну передавальну антенну решітку, вимірювання амплітуди електромагнітного поля на

UA 118730 C2

виході кожного елемента лінійної приймальної антенної решітки, яка встановлюється на довільній зручній для вимірювання відстані від передавальної решітки, а її амплітуда поля в розкритті є функцією від прогинів поверхні великогабаритного об'єкта, де встановлені випромінювачі, і ці прогини визначаються завдяки розв'язанню задачі мінімізації функціоналу, що обґрунтований авторами.



Фіг. 1

Запропонований винахід належить до дистанційних методів вимірювання і може застосуватися при експлуатації мостових споруд, великогабаритних будівель, об'єктів машинобудування тощо для визначення їх прогинів, коливань, динамічних спотворень форми.

Геометричні характеристики поверхні багатьох мостових споруд, а також технічних і будівельних об'єктів змінюється в залежності від різних зовнішніх і внутрішніх факторів. Наприклад, нижня частина поверхні мостових споруд під впливом навантажень коливається, а характеристики коливань і форма деформованої поверхні містять важливу діагностичну інформацію. Витяг цієї інформації може здійснюватися за допомогою датчиків контактного типу [1. Полярус О.В. Методика підвищення точності вимірювань вібропереміщень машини на основі комплексування вимірювачів / О. В. Полярус, В.В. Барчан, Є.О. Поляков. - Х.: Технологія приборостроєння, 2012. - № 1. - С. 25-29; 2. Fr. Bulnes, Isaias Martinez, Antonio Mendoza, Manuel Landa. Design and Development of an Electronic Sensor to Detect and Measure Curvature of Spaces Using Curvature Energy / Fr. Bulnes, Is. Martinez, A. Mendoza, M. Landa // Journal of Sensor Technology. - 2012. - № 2-Рр. 116-126.], які є частиною вимірювальної інформаційної системи. Установка і технічне обслуговування такої системи коштує дуже дорого. У деяких ситуаціях умови роботи контактних датчиків не дозволяють їх використовувати. Отже, існує необхідність визначення прогину поверхні та змінювання форми мостових споруд, що повільно або швидко змінюються з плином часу.

Найчастіше змінювання форми поверхні об'єктів вимірюється за допомогою контактних (механічних) і безконтактних методів. Контактні методи є привабливими, якщо існує практична можливість їхньої реалізації а, зокрема, на високих мостових спорудах така можливість значно ускладнена. Існує багато наукових статей, в яких описані неконтактні методи визначення кривизни та форми поверхні. Серед них особливо виділяються оптичні методи [1. Rosakis A. J. Full field measurements of curvature using coherent gradient sensing: application to thin film characterization / A. J. Rosakis, R. P. Singh, Y. Tsuji, E. Kolawa, N. R. Moore // Elsevier. Thin Solid Films. - 1998. - Vol. 325. - Pp. 42-54; 2. Lukianowicz Cz. Optical system for measurement of surface form and roughness / Cz Lukianowicz., T. Karpinski // Measurement Science Review. - 2001. - Vol.1. - № 1. - Pp. 151-154; 3. Pienkos T. Determination of surface waviness using radius of curvature measurement with laser scanning technique / T. Pienkos, L. Gladyszewski, A. Proszynski, D. Chocyk, Gr. Gladyszewski // Optica Applicata-2005. - Vol. 35. - № 3. - Pp. 503-507.]. В роботі [Rosakis A. J. Full field measurements of curvature using coherent gradient sensing: application to thin film characterization / A. J. Rosakis, R. P. Singh, Y. Tsuji, E. Kolawa, N.R. Moore// Elsevier. Thin Solid Films. - 1998. - Vol. 325. - Pp. 42-54] кривизна тонких плівок визначається з використанням когерентного зондування і оцінювання градієнта поля. В [Lukianowicz Cz. Optical system for measurement of surface form and roughness / Cz Lukianowicz., T. Karpinski// Measurement Science Review. - 2001. - Vol. 1. - № 1. - Pp. 151-154] вимірювання шорсткості поверхні проводиться за допомогою оптичної системи.

В роботі [Pienkos T. Determination of surface waviness using radius of curvature measurement with laser scanning technique / T. Pienkos, L. Gladyszewski, A. Proszynski, D. Chocyk, Gr. Gladyszewski // Optica Applicata-2005. - Vol. 35. - № 3. - Pp. 503-507.] метод лазерного сканування використовується для визначення хвилястості поверхні. Поперечні фільтри на поверхневих акустичних хвилях представлені в роботі [Adams P. M. Curvature measurements of stressed surface-acoustic-wave filters using Bragg angle contour mapping / P. M. Adams // International Centre for Diffraction Data. - Advances in X-ray Analysis, 2003. - Vol. 46. - Pp. 86-91.] для вимірювання кривизни. В роботі [Parra-Denis E. Three dimensional complex shapes analysis from 3D local curvature measurements. Application to intermetallic particles in aluminium alloy 5XXX / E. Parra-Denis, N. Moulin, D. Jeulin // Image Anal Stereol. - 2007. - Vol. 26. - Pp. 157-164.] методом рентгенівської томографії оцінюються тривимірні зображення матеріалів. Деякі методи вимірювання кривизни ґрунтуються на аналізі зображень поверхні [1. Dragut L. Automated classification of landform elements using object-based image analysis. Elsevier. Geomorphology / L. Dragut, Th. Blaschke. - 2006. - Vol. 81. - Pp. 330-344; 2. Merigot Q. Voronoi-based Curvature and Feature Estimation from Point Clouds / Q. Merigot, M. Ovsjanikov, L. Guibas // IEEE Transactions on Visualisation and Computer Graphics. - 2010. - № 8. - Pp. 1-14.]. Усі перераховані вище методи включають вимірювання мікрокривизни і мікронерівностей поверхні і в них не розглядаються методи оцінювання форми великих об'єктів, до яких належать мостові споруди. Застосування оптичних методів на великих відстанях є ускладненим, оскільки на оптичне випромінювання великий вплив чинить середовище їх поширення (тропосфера). Таким чином, існує необхідність в розробці методу дистанційного вимірювання прогинів і форми поверхонь для великих об'єктів.

Найбільш близьким за суттю до заявленого є вибраний, як найближчий аналог спосіб, що приведений в корисній моделі [Полярус О.В., Поляков Є.О., Бровко Я.С Спосіб дистанційного

визначення коефіцієнта динамічності і форми деформованої поверхні мостових споруд або інших великогабаритних об'єктів № 119364 від 25.09.2017.]

5 Суть способу, який вибрано за найближчий аналог, зводиться до зондування нижньої частини поверхні мостової споруди, на якій еквідистантно розміщені вторинні випромінювачі, електромагнітними хвилями з наступним вимірюванням діаграми спрямованості зазначеної системи випромінювачів. Ця діаграма вимірюється спочатку на ненавантаженому мосту, коли можна вважати нижню частину мостової споруди рівною площиною. В окремих випадках вона може бути навмисно або ненавмисно деформованою, але для запропонованого способу це не має істотного значення. У навантаженого мосту може змінюватись форма поверхні. Це 10 приводить до переміщення вторинних випромінювачів, оскільки вони жорстко з'єднані з плитою мосту, і в результаті діаграма спрямованості системи вторинних випромінювачів спотворюється. Далі здійснюється мінімізація функціоналу, що являє собою інтеграл від квадрата різниці двох діаграм спрямованості систем вторинних випромінювачів (неспотвореної та спотвореної в результаті прогину). В результаті мінімізації методом глобального випадкового пошуку 15 отримуються переміщення кожного вторинного випромінювача, тобто фактично вимірюється форма поверхні плити нижньої частини мосту, а також коефіцієнт динамічності мостової споруди шляхом застосування відомої методики його вимірювання. Вона зводиться до вимірювання прогину в деякій точці при статичному та динамічному навантаженнях на міст, а потім ділення динамічного прогину на статичний.

20 Недолік найближчого аналогу обумовлений тим, що діаграму спрямованості системи вторинних випромінювачів потрібно вимірювати в дальній зоні системи, відстань до якої складає два квадрати довжини  $L$  системи вторинних випромінювачів, яка поділена на довжину електромагнітної хвилі  $\lambda$ . Якщо, наприклад,  $L=20$  м, а  $\lambda=0,2$  м, то відстань до границі дальньої зони складає 4000 м, тобто виміряти діаграму спрямованості системи випромінювачів 25 в зазначених умовах неможливо, бо висота мостів найчастіше коливається в межах десятків метрів або навіть менше. Наблизити межу дальньої зони можна шляхом збільшення довжини хвилі, але при цьому інтенсивність випромінювання вторинних випромінювачів може зменшуватись, а ширина діаграми спрямованості системи випромінювачів - збільшуватись, що 30 приводить до зменшення точності вимірювання діаграми спрямованості, а значить, і до погіршення точності вимірювання переміщень випромінювачів або форми поверхні, що визначається. Зменшення відстані до дальньої зони ще простіше забезпечити за рахунок обмеження довжини системи вторинних випромінювачів  $L$ , але це послаблює оригінальні властивості запропонованого способу, що обумовлені одночасним вимірюванням прогинів 35 поверхні в багатьох точках. Отже, необхідність вимірювання діаграми спрямованості в дальній зоні приводить до звуження області практичного застосування найближчого аналогу.

На цей час існують методи визначення діаграм спрямованості антен на основі високоточних вимірювань амплітуди і фази електромагнітного поля в ближній зоні, наприклад [Hirokazu Kobayashi, Yoshio Yamaguchi, Yi Cu. Simple Near-field to Far-field Transformation Method Using Antenna Array-factor. - Journal of Wireless Networking and Communications, 2012, № 2(4), pp. 43-48], але вони потребують складних перерахунків, що знижує точність визначення діаграми 40 спрямованості системи випромінювачів, а тому і точності визначення переміщень самих випромінювачів.

Задачею винаходу є забезпечення можливості дистанційного вимірювання прогину поверхні нижньої частини мосту або інших великогабаритних об'єктів на будь-яких відстанях, що 45 задовольняють дослідника, без зниження точності цього вимірювання.

Суть винаходу. Поставлену задачу вирішують тим, що, як і в найближчому аналогу, на нижній поверхні мостової споруди встановлюють систему  $N$  ідентичних металевих елементів. Цю систему опромінюють електромагнітною хвилею заданого діапазону, яка наводить в металевих елементах струми високої частоти. Внаслідок цього кожний елемент перетворюється 50 у вторинний випромінювач і всі вони в сукупності створюють антенну решітку (антену) (Фіг. 1).

На деякій відстані від зазначеної системи вторинних випромінювачів, яка вибирається дослідником, встановлюється лінійна система приймальних елементів (Фіг. 2). На кожний приймальний елемент приходять електромагнітні хвилі від всіх вторинних випромінювачів. В результаті на виходах кожного з елементів створюється сигнал відповідної амплітуди, тобто 55 отримується залежність амплітуди поля від просторової координати, яка спрямована вздовж системи приймальних елементів. Підкреслимо, що ця система знаходиться не обов'язково в дальній зоні системи вторинних випромінювачів. Перевагою запропонованого методу є можливість встановлення приймальної системи на такій відстані від системи вторинних випромінювачів, яка є зручною для дослідника з точки зору проведення вимірювань на 60 конкретному об'єкті. Як наслідок, втрачається можливість отримання стійкої інтерференційної

картини в місці прийому, тобто не можна використовувати поняття діаграми спрямованості антени. Оскільки метою вимірювань електромагнітного поля в приймальних елементах є визначення прогинів мостової конструкції або інших великогабаритних об'єктів, то відсутність можливості вимірювання діаграми спрямованості системи вторинних випромінювачів не має істотного значення.

Для демонстрації роботи запропонованого способу оцінимо можливість вимірювання деформованого профілю поверхні нижньої частини мостової споруди довжиною 40 м. На цій поверхні може бути встановлена різна кількість випромінювачів. В залежності від цього змінюється відстань між сусідніми випромінювачами. Аналогічна ситуація характерна для лінійної системи приймальних елементів. Її довжина може перевищувати довжину лінійної передавальної антенної решітки або не перевищувати, але при цьому потрібно враховувати не тільки зручність і можливість для проведення вимірювань, але і наявність випромінених електромагнітних хвиль від кожного елемента передавальної антени в точці прийому, що залежить від ширини діаграми спрямованості передавальних елементів.

Схема розрахунку відстані  $r_{ik}$ , тобто відстані між  $i$ -тим випромінювачем та  $k$ -тим приймальним елементом, в якому складаються поля всіх первинних випромінювачів, для рівної нижньої поверхні мостової споруди зображена на Фіг. 2. Вторинні (або первинні) випромінювачі зосереджені в точках  $M_0, M_1, M_2, \dots$ , а приймальні елементи встановлені в точках  $P_0, P_1, P_2, \dots$ . Точки  $P_k$  знаходяться на відстанях  $r_{ik}$  від точок  $M_i$ , причому  $r_{ik} < r_{fz}$ , де  $r_{fz}$  - відстань до границі дальньої зони (far-zone) антенної решітки з випромінювачами в точках  $M_i$ .

Будемо вважати, що діаграми спрямованості випромінювачів, які розміщені в точках  $M_i$ , мають широку і однакову діаграму спрямованості (ДС), тобто в напрямку точки  $P_k$  з усіх випромінювачів  $M_i$  випромінюються хвилі, що формують енергетично однакове електромагнітне поле. Ефектами взаємного впливу між випромінювачами нехтуємо внаслідок відносно великої відстані між ними. Повне поле в точці  $P_k$  є сума полів від усіх  $i$ -тих випромінювачів, число яких  $M$ . Комплексна амплітуда електричного поля розраховується за формулами, що приведені в книжках з електродинаміки, поширення радіохвиль та теорії антен, наприклад, в [1. Черный Ф.Б. Распространение радиоволн. - М.: Сов. радио, 1972. - 464 с, 2. Yi Huang, Kevin Boyle. Antennas from theory to practice. - Wiley, 2008. - 379 p.]. Ця амплітуда на виході кожного приймального елемента

$$\dot{E}_k = \sum_{i=0}^{N-1} \frac{\dot{A}_i}{r_{ik}} e^{-j \frac{2\pi}{\lambda} r_{ik}}, \quad (1)$$

де  $i$  та  $k$  - номери випромінювача та приймального елемента відповідно;  
 $N$  - число вторинних випромінювачів;  $\lambda$  - довжина електромагнітної хвилі;  
 $\dot{A}_i = A_i e^{j\phi_i}$ ;  $A_i$ ,  $\phi_i$  - амплітуда та фаза поля відповідно для  $i$ -го випромінювача (в подальшому для простоти приймаємо  $\phi_i = 0$ );

Зазначена відстань  $r_{ik}$  визначається методами елементарної геометрії з використанням Фіг. 2:

$$r_{ik} = \sqrt{(h - S_0)^2 + (x_0 + \delta \cdot k)^2 + (d \cdot i)^2 + (S_i - S_0)^2 - 2\Lambda_{ik} \cdot \gamma_{ik}}, \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \Lambda_{ik} &= \sqrt{(h - S_0)^2 + (x_0 + k \cdot \delta)^2} \sqrt{(d \cdot i)^2 + (S_i - S_0)^2}, \\ \gamma_{ik} &= \cos\left(\frac{\pi}{2} - \arctg\left(\frac{x_0 + k \cdot \delta}{h - S_0}\right) - \arctg\left(\frac{S_i - S_0}{d \cdot i}\right)\right), \end{aligned}$$

$h$  - відстань між нижньою поверхнею мосту та решіткою приймальних елементів;

$S_i$  - величина прогину поверхні мосту в точках розміщення випромінювачів;

$x_0$  - відстань між початком координат та першим приймальним елементом  $P_1$ ;

$\delta$  - відстані між приймальними елементами;

$d$  - відстані між випромінювачами.

У подальшому вважаємо відстані  $\delta$  та  $d$  однаковими. Всі геометричні розміри та відстані в формулах (1) і (2) вважаються відомими, оскільки можуть бути визначені до початку проведення вимірювань.

5 Розглянемо реалізацію способу визначення прогинів поверхні, який використовується у винаході. Він передбачає спочатку опорне вимірювання амплітуди електромагнітного поля на виходах приймальної решітки у випадку, коли поверхня мосту чи іншого великогабаритного об'єкта є плоскою або має відхилення від площини, які завчасно виміряні будь-яким способом. Це випадок ненавантаженого мосту. Вимірювання проводиться на будь-якій відстані  $h$ . В результаті на виході приймальної решітки отримуємо залежність  $E_1(z_k)$ , де  $z_k$  - координата  $k$ -

10 то приймального елемента.  
Амплітуда поля  $A_i$  вторинного випромінювача в формулі (1) в ідентичних умовах опромінювання металевих пластин на мосту може вважатись однаковою. Її можна винести з-під знаку суми в співвідношенні (1), а далі вираз (1) нормується. Таким чином, в подальшому будемо використовувати нормовані виміряні амплітуди електромагнітного поля. Дійсно, незалежно від потужності електромагнітного випромінювання, що діє на металеві пластини, які перетворюються у вторинні випромінювачі, форма залежності  $E_1(z_k)$  не буде залежати від зазначеної потужності і тому, щоб не враховувати останню, доцільно використовувати нормовані розподіли амплітуди поля. Отже, амплітуду напруженості поля на виході приймальної решітки запишемо у вигляді, що аналогічний (1):

20 
$$\dot{E}_1(z_k) = \sum_{i=0}^{N-1} \frac{\dot{A}_i}{r_{ik}^o} e^{-j\frac{2\pi}{\lambda} r_{ik}^o} \approx \frac{\dot{A}_{i0}}{r_o} \sum_{i=0}^{N-1} e^{-j\frac{2\pi}{\lambda} r_{ik}^o}, \quad (3)$$

де  $\dot{A}_{i0}$  та  $r_o$  - деякі середні значення амплітуди поля та відстані між елементами передавальної та приймальної решіток. Причиною винесення за дужку відстані є її малий вплив на амплітуду поля. Нехай, наприклад, відстань між елементами двох решіток для

25 ненавантаженого мосту  $r_{ik}^o = 30$  м. Після навантаження міст прогинається максимум на один-два десятки міліметрів і при цьому, наприклад,  $r_{ik} = 30.01$  м. Очевидно, що  $\frac{r_{ik}^o}{r_{ik}} \approx \frac{r_{ik}^o}{r_{ik}}$ , що дає

право позбутися всього амплітудного множника і після нормування

$$\dot{E}_{1n}(z_k) = \sum_{i=0}^{N-1} e^{-j\frac{2\pi}{\lambda} r_{ik}^o}, \quad (4)$$

$$\dot{E}_{2n}(z_k) = \sum_{i=0}^{N-1} e^{-j\frac{2\pi}{\lambda} r_{ik}}, \quad (5)$$

30 В результаті навантаження змінюється форма мосту і з'являються прогини  $S_i$  нижньої поверхні. Розподіл амплітуди поля вздовж приймальної решітки може істотно змінитись, наприклад, стати рівним  $E_2(z_k)$ , оскільки вимірювання здійснюються у ближній зоні передавальної решітки. Зважаючи на те, що відстань  $h$  до нижньої частини мосту не змінилась,

35 причиною змінювання розподілу поля на виходах приймальної решітки є наявність прогинів  $S_i$  в точках розміщення вторинних випромінювачів. Якщо прогини  $S_i$  зменшити до нуля, то нормований розподіл перетвориться в нормований розподіл  $E_{1n}(z_k)$ . Цей фізично зрозумілий ефект використовується для визначення прогинів поверхні  $S_i$ . Дійсно, формули (4) і (5) відрізняються тільки відстанями  $r_{ik}^o$  та  $r_{ik}$ , які після компенсації прогинів стають рівними. Для

40 цього складається функціонал  $J(s_0, s_1, \dots, s_{N-1}) = |E_{1n}(z_k) - E_{2n}(z_k)| \Rightarrow \min$ , (6)

який мінімізується методом глобального випадкового пошуку, наприклад, з використанням генетичного алгоритму.

На Фіг. 3, 4 зображені приклади залежностей  $E_{1n}(z_k)$  (суцільна лінія) та  $E_2(z_k)$  (пунктирна лінія) для різних відстаней між решітками та різних довжин електромагнітної хвилі. Фіг. 3 ілюструє графіки для відстані між приймальною решіткою та нижньою частиною мосту, що дорівнює 10 м, і довжини хвилі 20 см, а Фіг. 4 - для відстані 50 м і довжини хвилі 2 см. Завдання генетичного алгоритму складається у керованій деформації пунктирних ліній з метою досягнення ними суцільних ліній. При цьому автоматично визначаються всі прогини  $S_i$ .

На Фіг. 5 представлені залежності нормованих амплітуд поля від лінійної координати, що характеризує просторове положення кожного приймального елемента для різних відстаней від нижньої частини мостової споруди. Внаслідок того, що на близьких відстанях від споруди інтерференційна картина полів від випромінюючих елементів є неусталеною, то ці графіки істотно відрізняються на різних відстанях. При наближенні до межі дальньої зони зазначені залежності будуть менше відрізнятися одна від іншої. Перевагою запропонованого способу є однаковість методики його застосування для різної дальності до споруди, в тому числі і для дальньої зони.

Ефективність запропонованого способу оцінювалась за точністю визначення прогину мостової конструкції в кожній точці, де розміщений випромінюючий елемент. Точність найчастіше визначається похибкою вимірювання, тобто різницею між результатом вимірювання та істинним значенням параметру, яке на практиці дає еталон. Як еталон в представленому способі використовується абсолютно точне значення прогинів в різних точках мостової споруди, які вибираються при моделюванні.

Після реалізації операцій способу визначаються всі прогини і точність розрахунків оцінюється різницями між отриманими даними та заданими раніше в кожній точці, де розміщується передавальний елемент. Ця різниця нормується відносно максимального значення прогину поверхні, що задавалась при моделюванні і виражається у відсотках.

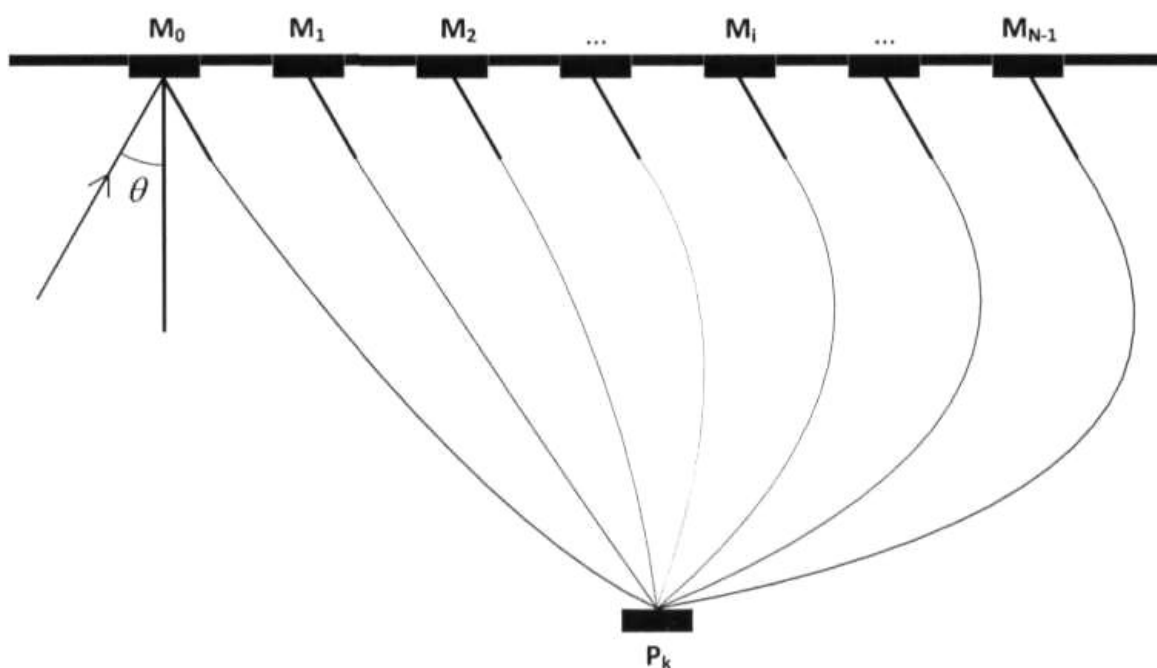
На Фіг. 6 приведені залежності похибки визначення прогинів поверхні від кількості приймальних елементів при різних довжинах електромагнітних хвиль, що використовуються при цьому. З рисунка випливає, що для кожної практичної ситуації існують прийнятні кількості приймачів та довжини електромагнітної хвилі, при яких похибки визначення прогинів будуть найменшими, зокрема такими, що не перевищують 10 %. На Фіг. 7 окремо виділена залежність похибки вимірювання прогинів поверхні від довжини хвилі, з якої випливають рекомендації щодо вибору цієї довжини. Різкі стрибкоподібні залежності на графіках обумовлені специфікою роботи методу випадкового пошуку глобального екстремуму, який реалізований у вигляді генетичного алгоритму. При малих довжинах хвиль істотно збільшується кількість дифракційних максимумів в діаграмі спрямованості передавальної системи і ускладнюється характер амплітуди електромагнітного поля в ближній зоні передавальної решітки. При цьому збільшується кількість екстремумів функціоналу, що мінімізується. При великій кількості екстремумів алгоритм може замість глобального екстремуму знайти локальний, що приводить до похибки визначення прогину поверхні. Якщо довжина хвилі збільшується, кількість екстремумів зменшується, але ефективність вторинного випромінювання погіршується, оскільки розміри вторинного випромінювача стають меншими довжини хвилі і в цих випадках точність визначення прогинів також зменшується. Отже, існує раціональний діапазон довжин хвиль, при яких зазначена точність є найбільшою. Для даного прикладу це дециметровий діапазон хвиль, в якому довжина хвилі повинна становити величину, близьку до 20 см.

Приведені у винаході аргументи повністю відповідають фізичному змісту явищ, що розглядаються. Переміщення будь-якого з випромінювачів, що встановлюються на поверхню, яка деформується, приводить до змінювання фазового розподілу вздовж решітки випромінювачів, оскільки фаза поля пропорційна лінійному переміщенню. В свою чергу змінювання фазового розподілу приводить як до змінювання амплітуди поля в дальній зоні, тобто діаграмі спрямованості антенної решітки, так і амплітуди поля в ближній зоні цієї решітки, що і використовується у винаході. Відбиття електромагнітних хвиль від бетонних та інших елементів мостових споруд можуть змінювати розподіл амплітуди поля у ближній зоні, але в будь-якому випадку цей складний розподіл є функціонально залежним від переміщення випромінювачів, що і лежить в основі винаходу.

#### ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

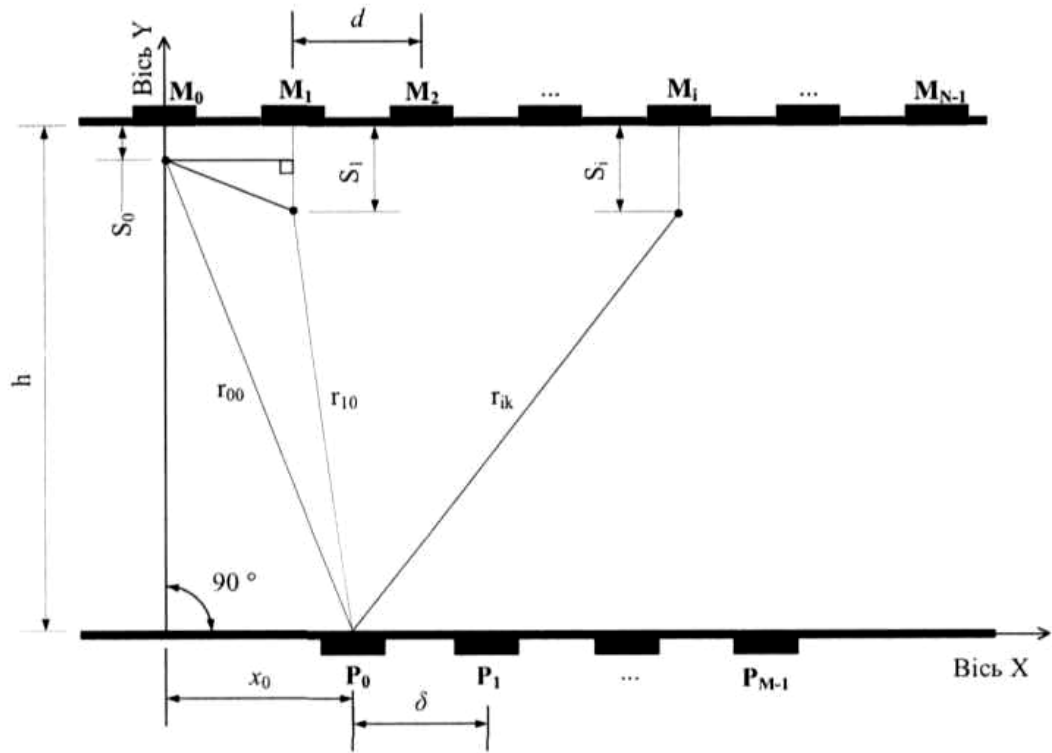
Спосіб дистанційного визначення коефіцієнта динамічності і форми деформованої поверхні мостових споруд або інших великогабаритних об'єктів, який полягає в тому, що поверхню спочатку ненавантаженої, а потім навантаженої мостової споруди або іншого об'єкта, на якій попередньо встановлюють вторинні випромінювачі на однакових відстанях один від одного, які

створюють передавальну антенну решітку, опромінюють електромагнітною хвилею, вимірюють сумарну амплітуду відбитих електромагнітних хвиль у визначених просторових точках, які розміщені в дальній зоні антенної решітки, визначають залежність поля від просторової координати (кута) для навантаженої та ненавантаженої споруди, тобто діаграму спрямованості антенної решітки, і складають функціонал, що дорівнює інтегралу від квадрата різниці вимірених діаграм спрямованості для навантаженої та ненавантаженої споруди, і який включає невідомі прогини кожного з випромінювачів, які визначають після мінімізації функціоналу методами глобального випадкового пошуку і при цьому визначають також профіль деформованої поверхні, що створений випромінювачами після їхнього переміщення, і коефіцієнт динамічності споруди для точок поверхні з максимальним статичним та динамічним прогинами, який відрізняється тим, що вимірювання амплітуди поля проводять не обов'язково в дальній зоні, а на будь-яких відстанях, що є зручними для оператора, а для вимірювання використовують приймальну лінійну антенну решітку, на виходах кожного з елементів решітки вимірюють сумарну амплітуду поля хвиль, що випромінюються елементами передавальної антенної решітки, а для побудови функціоналу використовують модуль різниці залежностей нормованої амплітуди електромагнітного поля від лінійної координати положення елементів приймальної решітки при навантаженій і ненавантаженій мостових спорудах, мінімізують функціонал методами глобального випадкового пошуку і при цьому визначають прогин мостової споруди або іншого великогабаритного об'єкта, які є функціями положення вторинних випромінювачів.

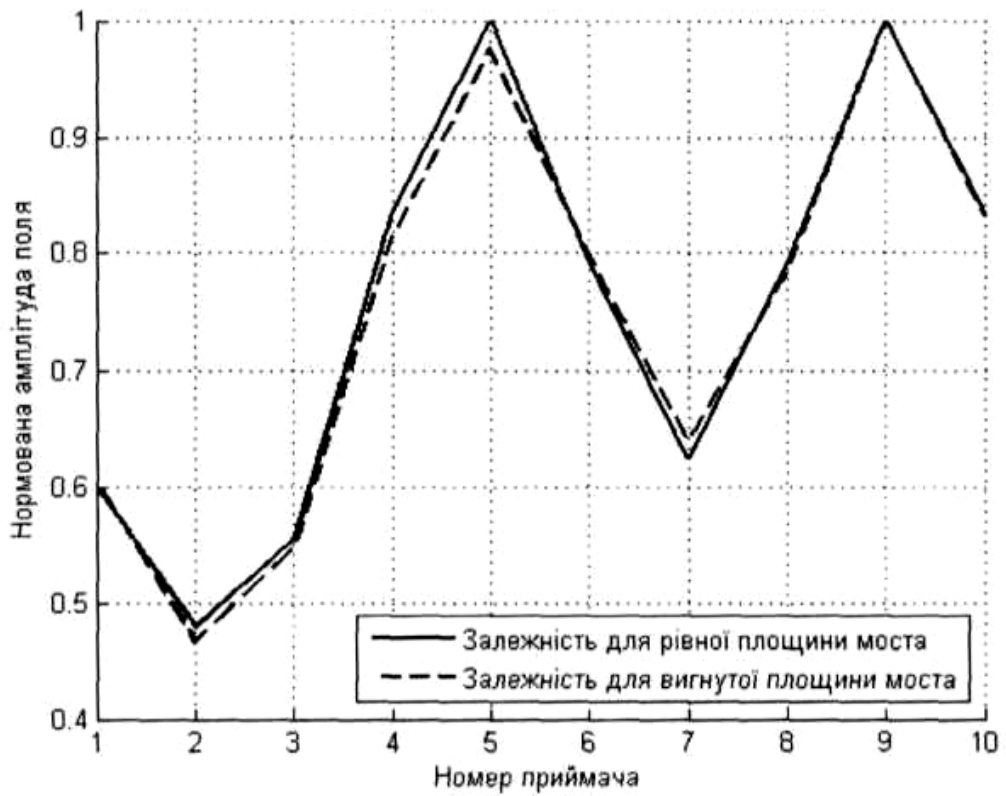


Фіг. 1

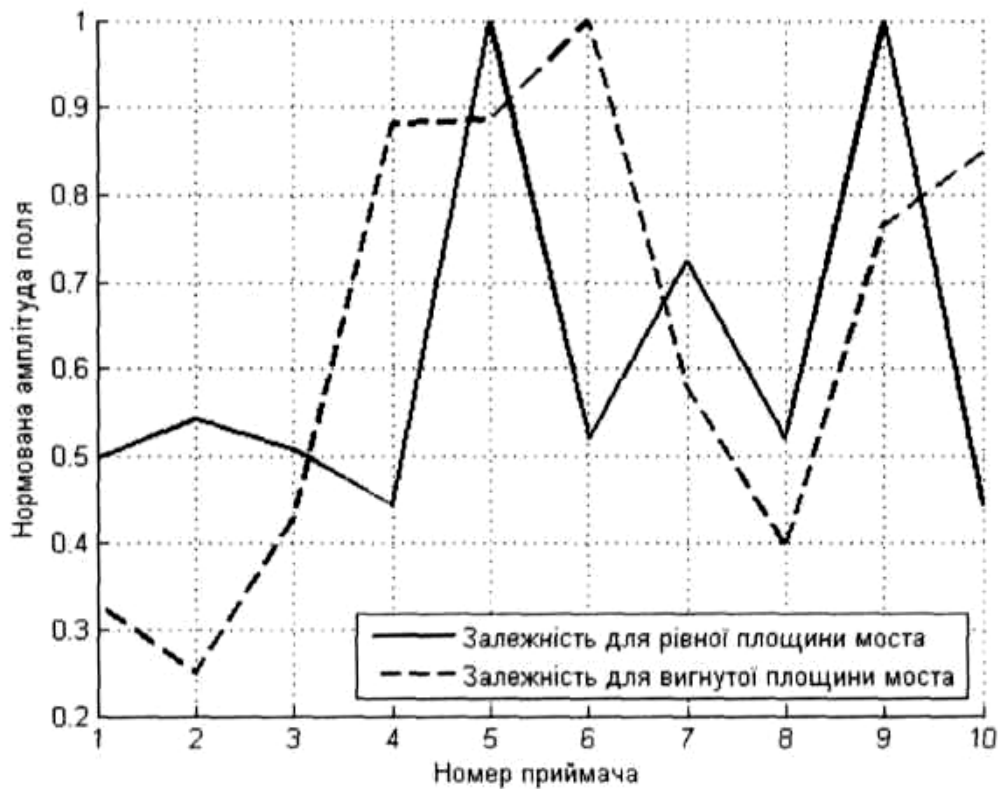




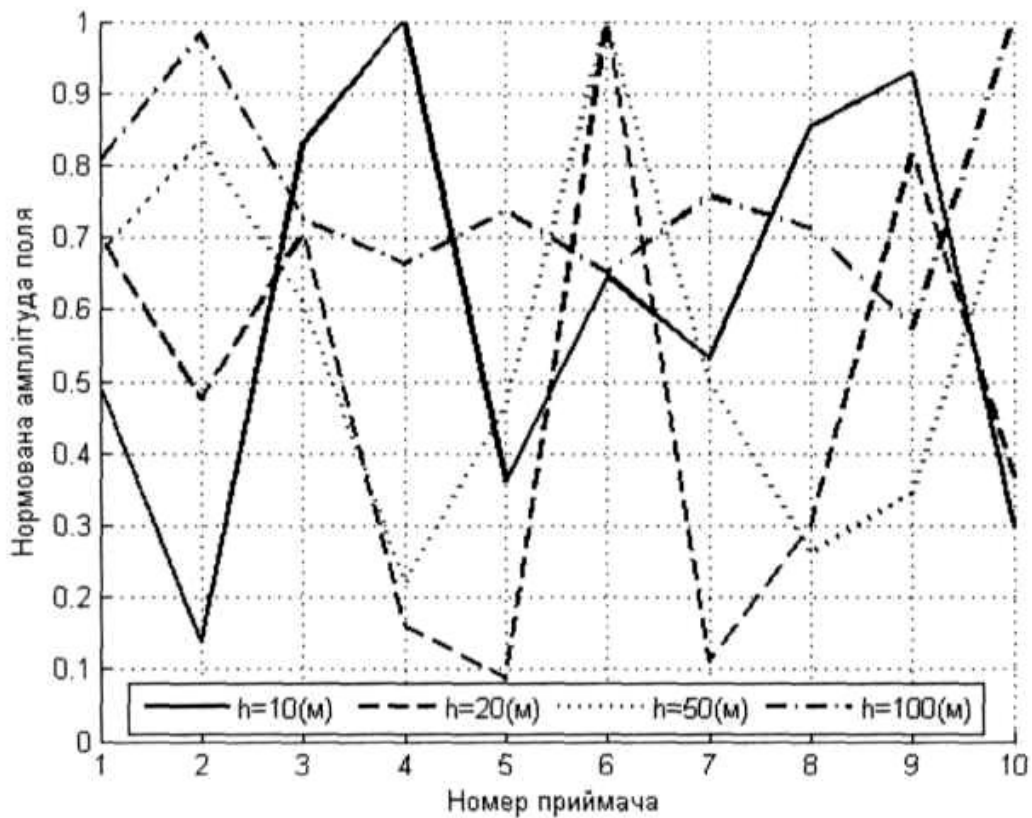
Фіг. 2



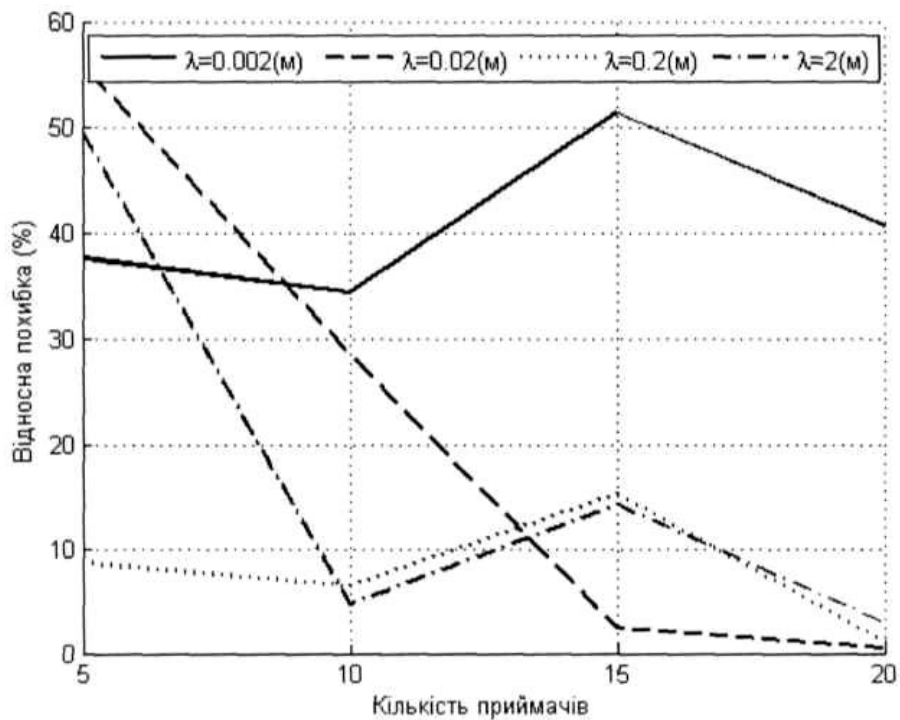
Фіг. 3



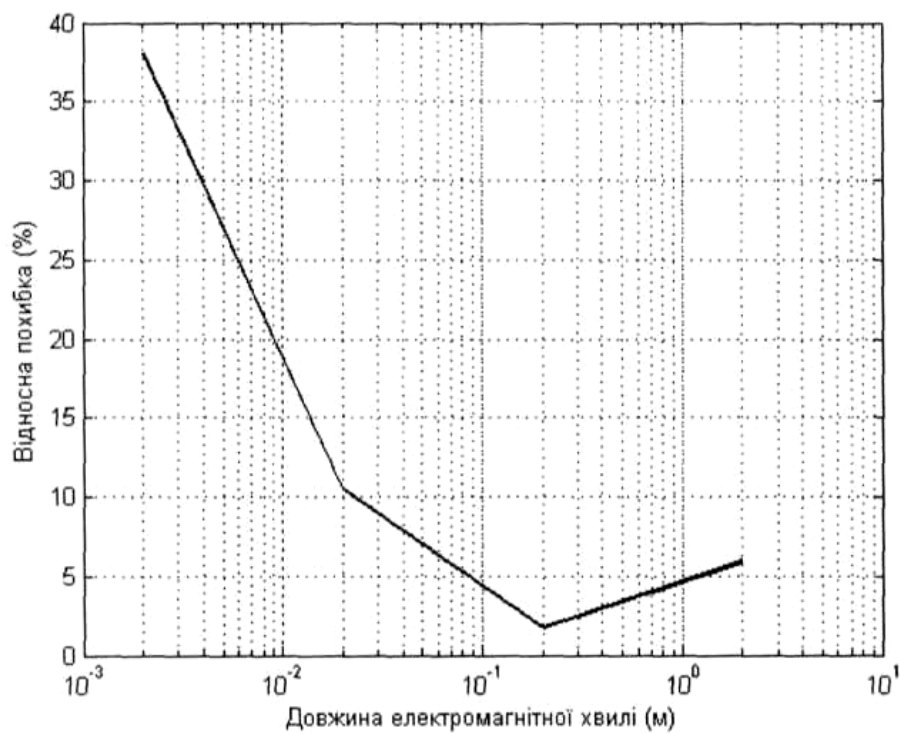
Фіг. 4



Фіг. 5



Фіг. 6



Фіг. 7

Комп'ютерна верстка Л. Ціхановська

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