

ПОХИБКА ТРИВИМІРНОЇ РЕКОНСТРУКЦІЇ ПОВЕРХНІ ТРІЩИНИ ЗА ТРІАДОЮ ЗОБРАЖЕНЬ

ГРАБОВСЬКА Н.Р., РУСИН Б.П., ІВАНЮК В.Г.,
КАПШІЙ О.В.

Розглядається метод тривимірної реконструкції поверхні за тріадою двовірних зображень, які отримані під різними напрямками освітлення. Оцінка похибки реконструкції похідних поверхні проводиться для двох бокових напрямків освітлення. Результати розрахунку демонструються на прикладі тестового зображення тріщини.

1. Вступ

В неруйнівному контролі конструкцій, уражених корозією, для прогнозування ресурсу їх безаварійної роботи важливе значення має встановлення форми та глибини пітингів або тріщин, які утворилися на поверхні конструкцій в процесі експлуатації [1,2].

Останнім часом для опису та відновлення форми дефекту використовують методи тривимірної реконструкції [3-10]. Одним з методів отримання тривимірної форми предмета на основі аналізу його зображень є класична стереореко́нструкція [11]. Проте даний метод тривимірної реконструкції має ряд обмежень, які виникають під час застосування і впливають на точність отримання кінцевого результату. Обмеження методу викликає присутність на одному з зображень стереопари значної за розмірами зони загороджених пікселів, що звужує інформацію в цій зоні до одного зображення, а отже блокує ефективну тривимірну реконструкцію. Все це призводить до зниження якості реконструкції.

В роботі використовується запропонований в [12, 13] метод 3D реконструкції за тріадою зображень, отриманих зі змінним положенням джерела світла. Метод оснований на ламбертівській моделі відбиття світла від поверхні конструкції. Для відеозйомки зображень використовуються три напрямки освітлення - вертикальний та два бокові.

Сама реконструкція відбувається шляхом інтегрального накопичення реконструйованих горизонтальної та вертикальної похідних вектора нормалі. Як правило, визначення глибини дефекту відбувається з певною похибкою. Похибка складається з двох складових: перша, яка виникає лише в розрахунковій частині алгоритму реконструкції, і друга, обумовлена неточністю відеозйомки зображень. Спотворення зображень викликано неточністю встановлення напрямків освітлення поверхні дефекту. За результатами роботи [13] похибка обрахунку поверхні дефекту, яка зосереджена лише в розрахунковій частині алгоритму реконструкції, за тріадою зображень для випадку оцінки глибини тріщини становить $\pm 0,04\%$. Але при практичній реалізації цієї реконструкції необхідно вра-

хувати похибки, які індуковані відхиленням кожного з трьох напрямків освітлення від технологічно запланованого значення. Це складне завдання. Тому щоб досягти його успішного виконання, слід розбити вирішення цієї проблеми на простіші етапи і аналізувати зазначені похибки по частинах. На першому етапі такого аналізу точності доцільно розглянути похибку, яка індукована відхиленням кожного з двох бокових напрямків освітлення від технологічно запланованого значення.

Оскільки аналіз точності реконструкції розпочато для тріщини, то доцільно його продовжити, використовуючи як об'єкт реконструкції тріщину.

Тому метою роботи є оцінка похибки визначення похідних поверхні тріщини при її реконструкції за тріадою зображень залежно від бокових напрямків освітлення.

В рамках поставленої мети будуть вирішені дві задачі оцінки похибок 3D реконструкції похідних поверхні тріщини залежно від бокових напрямків освітлення, а також буде з'ясовано, в якій мірі цей тип похибок можна контролювати сучасними кутомірними засобами, що дозволить конструктивно зменшити їх до необхідного рівня і покращити точність 3D реконструкції.

2. Люмінаційна модель зображення

Для дифузної моделі відбиття (розглядається монохроматичне зображення) інтенсивність відбиття точки поверхні, освітленої одним джерелом світла, визначає рівняння [14, 15]

$$I_{\lambda} = I_a + I_{p\lambda} k_d (N \cdot L), \quad (1)$$

де I_a – інтенсивність розсіяного світла; $I_{p\lambda}$ – інтенсивність джерела освітлення; k_d – дифузний коефіцієнт, який визначає рівень дифузного відбиття досліджуваної точки поверхні; $L = (L_x, L_y, L_z)$ – напрям на джерело світла; $N = (N_x, N_y, N_z)$ – одиничний вектор нормалі до поверхні $F(x, y, z) = 0$ у досліджуваній точці $M = (x, y, z)$.

Вважаємо, що наступну реконструкцію виконують, коли поверхня задана в явній формі $z = f(x, y)$, тому $F(x, y, z) = f(x, y) - z = 0$. Направлені косинуси нормалі (N) до такої поверхні в точці $M = (x, y, z)$ описуються формулами [16]

$$N = \left\{ \frac{-p}{\sqrt{p^2 + q^2 + 1}}, \frac{-q}{\sqrt{p^2 + q^2 + 1}}, \frac{1}{\sqrt{p^2 + q^2 + 1}} \right\}, \quad (2)$$

де $p = \frac{\partial z}{\partial x}$, $q = \frac{\partial z}{\partial y}$ – нахил поверхні в околі точки.

Оскільки інтенсивність джерела освітлення $I_{p\lambda}$ є стала величина, то рівняння (1) є функцією чотирьох невідомих p , q , k_d та I_a .

3. 3D реконструкція за тріадою зображень

Розглянемо ілюмінаційну модель зображення з контрольованим кутом освітлення та визначимо її параметри p , q , k_d та I_a з тріади зображень. Щоб усунути залежність від параметра I_a , експериментально визначимо його тимчасово, штучно, затінюючи зразок з дефектом. Затінення формується за допомогою прямокутника, просторове положення якого над зразком, а отже і положення тіні, визначає система обробки. Використовуючи базове зображення I_λ зі штучним затіненням, можна визначити інтенсивність фону I_a і звести модель (1) до трьох невідомих.

Забезпечивши у системі джерело світла з такими параметрами, що $L_0 = (L_{x0}, L_{y0}, L_{z0})$, $L_1 = (L_{x1}, L_{y1}, L_{z1})$, $L_2 = (L_{x2}, L_{y2}, L_{z2})$, отримаємо інтенсивність відбиття поверхні у вигляді системи трьох рівнянь:

$$\begin{aligned} I_{\lambda 0} &= I_a + I_{p\lambda} k_d (L_{x0} N_x + L_{y0} N_y + L_{z0} N_z), \\ I_{\lambda 1} &= I_a + I_{p\lambda} k_d (L_{x1} N_x + L_{y1} N_y + L_{z1} N_z), \\ I_{\lambda 2} &= I_a + I_{p\lambda} k_d (L_{x2} N_x + L_{y2} N_y + L_{z2} N_z), \end{aligned} \quad (3)$$

в якій невідомі компоненти вектора нормалі N . Кожна компонента вектора нормалі N залежать від похідних p , q , а отже система (3) залежать від них. Щоб спростити вираз (3), застосуємо у системі джерела світла з такими параметрами, що

$$\begin{aligned} L_0 &= (0, 0, 1), \\ L_1 &= (L_{x1e}, 0, L_{z1e}), L_2 = (0, L_{y2e}, L_{z2e}). \end{aligned} \quad (4)$$

Представимо джерела світла (4) із застосуванням кутів (рис. 1):

$$L_0 = (0, 0, 1), L_1 = (\cos\theta, 0, \sin\theta), L_2 = (0, \cos\phi, \sin\phi). \quad (5)$$

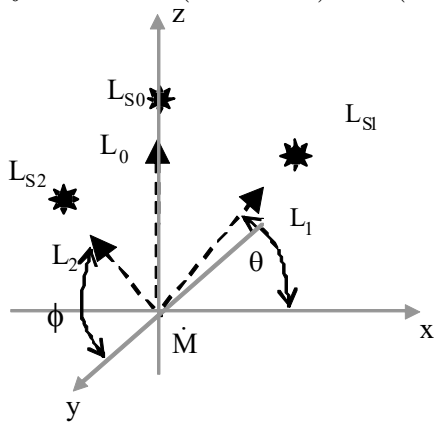


Рис. 1. Геометрична інтерпретація локалізації джерела світла (L_{S0}, L_{S1}, L_{S2}) в тривимірному просторі відносно точки M поверхні дефекту

Крім того, приймаємо, що джерела світла є однакові $L_{S0} = L_{S1} = L_{S2}$.

Отриману систему трьох рівнянь з невідомими параметрами k_d та p , q , шляхом алгебраїчних перетворень, трансформуємо у таку форму:

$$p = \frac{L_{z1e}}{L_{x1e}} - \frac{\eta_1}{L_{x1e}}, \quad (6)$$

$$\text{де } \eta_1 = \frac{I_{\lambda 1} - I_a}{I_{\lambda 0} - I_a},$$

$$q = \frac{L_{z2e}}{L_{y2e}} - \frac{\eta_2}{L_{y2e}}, \quad (7)$$

$$\text{де } \eta_2 = \frac{I_{\lambda 2} - I_a}{I_{\lambda 0} - I_a}.$$

Оскільки напрямки освітлення L_0, L_1, L_2 (4) є технологічно заплановані, то на основі їх компонент виконується реконструкція (6) і (7).

4. Похибка визначення похідних поверхні

На практиці під час зйомки виникають відхилення від напрямків освітлення (4). Тому на першому етапі аналізу точності реконструкції на основі тріади 2D зображень доцільно розглянути похибку, яка індукована відхиленням першого бокового напрямку освітлення

$$\tilde{L}_1 = (\tilde{L}_{x1}, \tilde{L}_{y1}, \tilde{L}_{z1}) \quad (8)$$

від технологічно запланованого L_1 для відеозйомки зображення $I_{\lambda 1}$. На другому етапі аналізу точності доцільно розглянути похибку, яка індукована відхиленням другого бокового напрямку освітлення

$$\tilde{L}_2 = (\tilde{L}_{x2}, \tilde{L}_{y2}, \tilde{L}_{z2}) \quad (9)$$

від технологічно запланованого L_2 для відеозйомки зображення $I_{\lambda 2}$.

Зауважимо, що через зміну напрямку освітлення \tilde{L}_1 зображення $I_{\lambda 1}(L_1)$ спотворюється і стає $I_{\lambda 1}(\tilde{L}_1)$, а через зміну напрямку освітлення \tilde{L}_2 зображення $I_{\lambda 2}(L_2)$ спотворюється і стає $I_{\lambda 2}(\tilde{L}_2)$. Тому реконструкція похідної p (6) змінюється лише через зміну параметра $\eta_1(I_{\lambda 1}(\tilde{L}_1))$, а реконструкція похідної q (7) змінюється лише через зміну параметра $\eta_2(I_{\lambda 2}(\tilde{L}_2))$.

Розглянемо похибку реконструкції похідної p , яка індукована відхиленням першого бокового напрямку освітлення \tilde{L}_1 (8).

Для векторів L_1, \tilde{L}_1 скористаємось описом, який слідує при використанні поверхні сфери $x^2 + y^2 + z^2 = 1$, з центром у досліджуваній точці O . Досліджувана точка розміщена у центрі координат.

Для поверхні $z = \sqrt{1 - x^2 - y^2}$ можна визначити похідну

$P = \frac{\partial z}{\partial x} = -\text{ctg}\theta$, де θ - кут напрямку світла в площині XOZ , а також можна визначити похідну

$Q = \frac{\partial z}{\partial y} = -\text{ctg}\varphi$, де φ - кут напрямку світла в площині YOZ . На основі цього опис вектора \tilde{L}_1 набуває форми

$$\tilde{L}_1 = \left(\frac{-P}{\sqrt{P^2 + Q^2 + 1}}, \frac{-Q}{\sqrt{P^2 + Q^2 + 1}}, \frac{1}{\sqrt{P^2 + Q^2 + 1}} \right). \quad (10)$$

З використанням (10) для технологічно запланованого L_1 , який визначено в точці з $P = P_e, Q = Q_e = 0$, маємо наступний вираз

$$L_1 = \left(\frac{-P_e}{\sqrt{P_e^2 + 1}}, 0, \frac{1}{\sqrt{P_e^2 + 1}} \right). \quad (11)$$

Тому зображення $I_{\lambda 1}$, а також величина η_1 є функцією параметрів P_e, Q_e , внаслідок чого реконструкція похідної

$$p = p(P_e, Q_e) = \frac{L_{z1e}}{L_{x1e}} - \frac{\eta_1(P_e, Q_e)}{L_{x1e}}. \quad (12)$$

За рахунок використання напрямку освітлення $\tilde{L}_1 = \tilde{L}_1(P, Q)$ (10) зображення $I_{\lambda 1}$ стає функцією параметрів P, Q . Внаслідок цього реконструкція похідної

$$p(P, Q) = \frac{L_{z1e}}{L_{x1e}} - \frac{\eta_1(P, Q)}{L_{x1e}}. \quad (13)$$

Застосуємо для оцінки точності реконструкції p розклад функції (13) в ряд Тейлора:

$$\begin{aligned} p(P, Q) &= p(P_e, Q_e) + (P - P_e) \frac{\partial p(P, Q_e)}{\partial P} \Big|_{P=P_e} + \\ &+ (Q - Q_e) \frac{\partial p(P_e, Q)}{\partial Q} \Big|_{Q=Q_e} + \\ &+ (P - P_e)^2 \frac{1}{2!} \frac{\partial^2 p(P, Q_e)}{\partial P^2} \Big|_{P=P_e} + \\ &+ (Q - Q_e)^2 \frac{1}{2!} \frac{\partial^2 p(P_e, Q)}{\partial Q^2} \Big|_{Q=Q_e} + \\ &+ \frac{1}{2!} (P - P_e)(Q - Q_e) \frac{\partial^2 p(P, Q)}{\partial P \partial Q} \Big|_{P=P_e, Q=Q_e} + \dots \end{aligned} \quad (14)$$

Наступний аналіз точності виконується з параметром $Q_e = 0$. Для оцінки $p = p(P, Q)$ (14) шляхом диференціювання (13) та підставлення компонент вектора N (2) отримуємо

$$\left[\frac{\partial p(P, 0)}{\partial P} \right]_{P=P_e} = \frac{P_e - p}{L_{x1e}(P_e^2 + 1)^{3/2}}. \quad (15)$$

Для оцінки $p = p(P, Q)$ (14) шляхом диференціювання (13) аналогічно знаходимо

$$\left[\frac{\partial p(P_e, Q)}{\partial Q} \right]_{Q=0} = \frac{-q}{L_{x1e}\sqrt{1 + P_e^2}}. \quad (16)$$

Нехтуючи у виразі (14) малими членами, отримуємо наближення розвинення в ряд Тейлора, з якого, з використанням підставлення (15), (16), визначимо загальну оцінку точності реконструкції горизонтальної похідної

$$\Delta p_{PQ} = p(P_e, 0) - p(P, Q) = \Delta p_P + \Delta p_Q, \quad (17)$$

де похибки

$$\Delta p_P = (P_e - P) \left[\frac{\partial p(P, 0)}{\partial P} \right]_{P=P_e}. \quad (18)$$

$$\Delta p_Q = -Q \left[\frac{\partial p(P_e, Q)}{\partial Q} \right]_{Q=0}. \quad (19)$$

Наступний аналіз точності виконується з параметром $P_e = -1$. При таких параметрах вектор напрямку на джерело світла (10) приймає значення

$$L_1 = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}, 0, \frac{1}{\sqrt{2}} \right). \quad \text{Підставимо компоненту}$$

$L_{x1e} = \frac{1}{\sqrt{2}}$ та $P_e = -1$ в (15), (16) і отримаємо

$$\left[\frac{\partial p(P, 0)}{\partial P} \right]_{P=-1} = -\frac{1}{2} [1 + p], \quad (20)$$

$$\left[\frac{\partial p(-1, Q)}{\partial Q} \right]_{Q=0} = -q. \quad (21)$$

На основі (17) з врахуванням (20) і (21) визначимо відносну похибку обрахунку горизонтальної похідної

$$\delta p = \delta p_P + \delta p_Q, \quad (22)$$

де

$$\delta p_P = \frac{(1 + P)(1 + p)}{2p}, \quad (23)$$

$$\delta p_Q = Q \frac{q}{p}. \quad (24)$$

Із залежності (22) видно, що для підвищення точності реконструкції доцільно працювати з мінімальним

відхиленням напрямку освітлення від запланованого $P = -1$ та $Q=0$. Крім того, коли похідна p прямує до 0, то відносна похибка δp зростає. Щоб з'ясувати технологічно досяжні відхилення напрямку освітлення від технологічно запланованого, розрахуємо кількісну оцінку відносної похибки δp . Але спочатку доцільно розглянути точність реконструкції, проаналізувавши похибку, викликану змінами напрямку L_2 . Використаємо для цього подібність співвідношень (6) та (7). На основі наведеної подібності, скориставшись в (22) підставленнями $p = q$, $q = p$, $P = Q$, $Q = P$, визначено відносну похибку обрахунку вертикальної похідної

$$\delta q = \delta q_Q + \delta q_p, \quad (25)$$

де

$$\delta q_Q = \frac{(1+Q)(1+q)}{2q}, \quad (26)$$

$$\delta q_p = P \frac{p}{q}. \quad (27)$$

З (25) видно, що коли похідна q прямує до 0, то відносна похибка δq зростає. Повертаючись до відносної похибки δp , продовжимо її аналіз для тріщини. Нехай маємо вертикальну тріщину. Для такої тріщини $q \approx 0$. Як видно з (22), $|\delta p_p| \gg |\delta p_Q|$ і тому $\delta p_{pQ} \approx \delta p_p$. Таким чином, необхідно оцінити похибку δp_p , яка є функцією параметра P та горизонтальної похідної p . Щоб дослідити величину похибки δp_p у діапазоні горизонтальних похідних $[-p_1, p_1]$, розглянемо переріз вертикальної тріщини, який описується рівнянням

$$z = \eta(i\Delta x - a)^2, \quad (28)$$

де Δx – крок дискретизації по горизонтальній координаті x .

5. Приклад кількісної оцінки відносної похибки реконструкції горизонтальної похідної тріщини

На рис. 2 подано комп'ютерне моделювання сегмента вертикальної тріщини (а) та розподіл його горизонтальних похідних (б).

Оскільки для реконструкції глибини тріщини необхідно забезпечити значний діапазон реконструкції горизонтальної похідної $D = [-0,97; 0,97]$, то треба дослідити умови реконструкції в діапазоні D докладніше і з'ясувати, чи достатня точність у точках діапазону D для проведення реконструкції глибини тріщини. Оцінку (23), як функції $\delta p = \delta p_p(\theta, p)$, отримано для випадку, коли $1+P = \text{ctg}45^\circ - \text{ctg}\theta$, тут θ – кут на-

прямку світла в площині XOZ . У вигляді двовимірного масиву цей розподіл відносної похибки визначення горизонтальної похідної δp представлено на рис. 3. На рис. 3 точки, в яких можна реконструювати похідну p , представлено світло сірим кольором, а де не виконується умова $|\delta p_p(\theta, p)| \leq 0,1$ – чорним. З рис. 3 видно, що для розширення діапазонів реконструкції доцільно працювати з мінімальним відхиленням напрямку освітлення від технологічно запланованого $\theta = 45^\circ$. Зауважимо, що практична реалізація такої операції мінімізації відхилення напрямку освітлення потребує додаткових технологічних зусиль, необхідних для корекції точності розташування напрямків освітлення. Надалі приймаємо, що оцінка похибки визначення вертикальної похідної тріщини, обумовлена відхиленням напрямку освітлення θ від технологічно запланованого 45° , скоригована конструктивно так, що $|\delta p_p(\theta, p)| \leq 0,1$, де $\theta \in [44^\circ, 46^\circ]$. Завдяки сучасним вітчизняним кутомірам виробництва МІКРОТЕХ [17] можна створити джерело світла з таким відхиленням напрямку освітлення для використання при 3D реконструкції. В цьому випадку для реконструкції з точністю $|\delta p_p| \leq 0,1$ маємо два діапазони реконструкції горизонтальної похідної $D_- = [-0,97; -0,14]$, та $D_+ = [0,23; 0,97]$. Видно, що по абсолютній довжині діапазон D_- більший за діапазон D_+ .

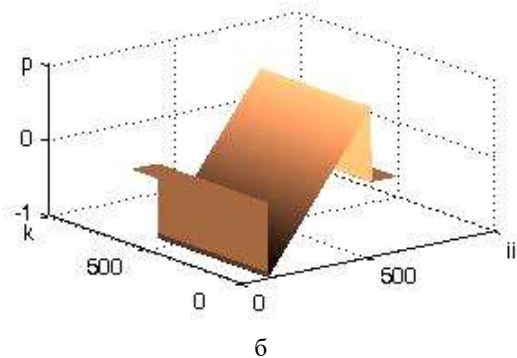
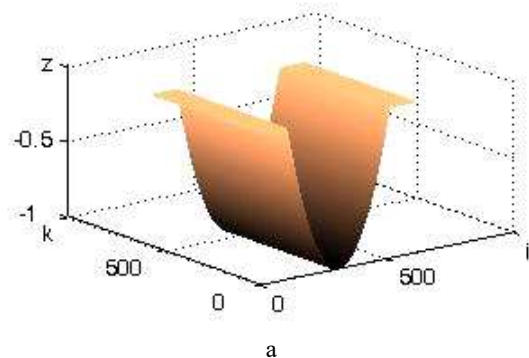


Рис. 2. Сегмент вертикальної тріщини (а) та його розподіл горизонтальних похідних (б)

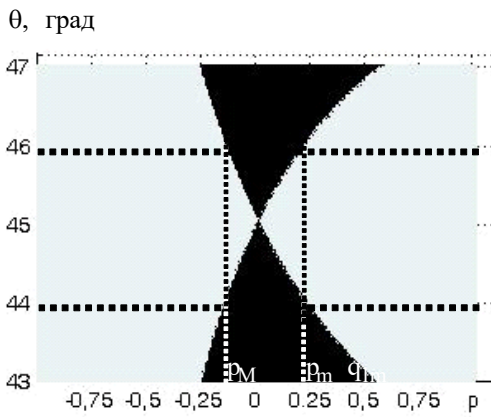


Рис. 3. Розподіл відносної похибки визначення горизонтальної похідної $\delta\rho(\theta, \rho)$ та діапазони реконструкції у випадку $\theta \in [44^\circ, 46^\circ]$

При 3D реконструкції оцінку глибини тріщини знаходимо інтегральним накопиченням похідної ρ , починаючи від одного з країв тріщини (див. рис. 2,а). Зважаючи на те, що по абсолютній довжині діапазон D_- більший за діапазон D_+ (див. рис. 3, $|\rho_M| < \rho_m$) глибину симетричного об'єкта реконструкції, яким є дана тріщина, краще реконструювати у діапазоні D_-

Таким чином, розраховані похибки визначення похідних досліджуваної поверхні обумовлені відхиленням бокового напрямку освітлення L_1 .

Розглянемо точність реконструкції, розрахувавши похибку, викликану змінами напрямку L_2 . Використаємо для цього подібність співвідношень похибок реконструкції (23) та (26). На основі наведеної подібності в прикладі кількісної оцінки відносної похибки доцільно застосувати горизонтальну тріщину. Для горизонтальної тріщини $\rho \approx 0$. Тому, як видно з подібності (23) та (25), для опису розподілу відносної похибки визначення вертикальної похідної $\delta q(\varphi, q)$ можна скористатись розподілом відносної похибки $\delta\rho(\theta, \rho)$, представленим на рис. 3, з використанням підставлень $q = \rho$, $\varphi = \theta$. Отже, отримуємо діапазони реконструкції горизонтальної похідної у випадку $\theta \in [44^\circ, 46^\circ]$.

Висновки

Розглянуто задачу тривимірної реконструкції поверхні за тріадою двовірних зображень. Запропоновано алгоритм реконструкції внутрішньої поверхні тріщини та розраховано точність його роботи для випадку неконтрольованих змін двох бокових напрямків освітлення відеозйомки.

Аналітично знайдені похибки визначення похідних досліджуваної поверхні обумовлені відхиленням бокового напрямку освітлення від технологічно запланованого значення в площині XOZ та YOZ. На їх основі розраховані похибки визначення горизонтальної та вертикальної похідних поверхні вертикальної тріщини

ни з квадратичним профілем, два діапазони 3D реконструкції значень горизонтальної та вертикальної похідних, а також запропоновані рекомендації по встановленню експлуатаційних меж кутових відхилень бокового напрямку освітлення від технологічно запланованого значення в перспективі майбутньої реалізації.

Для симетричних поверхонь рекомендовано проводити реконструкцію з використанням діапазону 3D реконструкції з від'ємними значеннями горизонтальної похідної, оскільки він є довший за діапазон 3D реконструкції з додатними значеннями похідної.

Література: 1. *Sharland S. M.* A review of the theoretical modeling of crevice and pitting corrosion *Corrosion Science* 1987. V. 27. N3. P. 289-323. 2. *Marcus P.* Corrosion mechanisms in theory and practice 2nd Edition - 2002. New York, Technology & Engineering – 742P. 3. *Y. Liu, X. Su, and Q. Zhang,* “A novel encoded-phase technique for phase measuring profilometry,” *Opt. Express* 19(15), 2011. P. 14137–14144. 4. *Q. Zhang, X. Su, L. Xiang, and X. Sun,* 3-D shape measurement based on complementary gray-code light, *Opt. Lasers Eng.*, vol. 50, 2012. P. 574-579. 5. *S. Zhang, D. Van Der Weide, and J. Oliver,* Superfast phase-shifting method for 3-D shape measurement, *Opt. Express* vol. 18, No. 9, 2010. P. 9684–9689. 6. *Woodham R.J.* Photometric method for determining surface orientation from multiple images *Optical Engineering*. 1980. 19(1). P. 139–144. 7. *Maria E. Angelopoulou, Maria Petrou* Evaluating the effect of diffuse light on photometric stereo reconstruction *Machine Vision and Applications*. 2014. Vol. 25, Issue 1. P. 199-210 8. *Yoshizawa, T.* Handbook of Optical Metrology -principle and applications- CRC Press, New York 2009. 744 P. 9. *S. Zhang,* High-resolution 3-D profilometry with binary phase-shifting methods, *Appl. Opt.* 50(12). 2011. P. 1753–1757. 10. *Sudipta N. Sinha, D. Scharstein, R. Szeliski.* Efficient high-resolution stereo matching using local plane sweeps. / IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2014). 2014. P. 1219-1222. 11. *Richard Szeliski.* Computer Vision: Algorithms and Applications. Springer, New York. 2010. 655 P. 12. Неруйнівний контроль стану поверхонь, уражених корозійними пітингами /Б.П. Русин, Н.П. Ануфрієва, Н.Р. Грабовська, В.Г. Іванюк // Фіз.-хім. механіка матеріалів. 2013. №4. С. 90–96. 13. Оцінка глибини тріщини за тріадою зображень / Б.П. Русин, В.Г. Іванюк, О.В. Капшій, Н.П. Ануфрієва // Радіоелектроніка і інформатика. 2010. №2. С. 70–78. 14. *Lambert.* Photometria, sive de Mensura et gradibus luminis, colorum et umbrae / sumptibus viduae E. Klett, 1760. 15. *Shintaro Watanabe, Koji Miyajima* Detecting Building Changes Using Epipolar Constraint From Aerial Images Taken At Different Positions //ICIP 2001. 2001. P. 201-204. 16. *Смирнов В.И.* Курс высшей математики. т. 1. М.: Наука. 1967. 480с. 17. tool@microtech-ua.com

Надійшла до редколегії 17.06.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Лукін В.В.

Грабовська Наталія Романівна, аспірантка Фізико-механічного інституту ім. Г.В.Карпенка НАНУ. Наукові інтереси: обробка та розпізнавання зображень. Адреса: Україна, 79601, Львів, вул. Наукова, 5а. dep32@ipm.lviv.ua

Русин Богдан Павлович, д-р техн. наук, проф., зав. відділом “Методів і систем дистанційного зондування” Фізико-механічного інституту ім. Г.В.Карпенка НАНУ. Наукові

інтереси: обробка та розпізнавання зображень. Адреса: Україна, 79601, Львів, вул. Наукова, 5а, e-mail: dep32@ipm.lviv.ua

Іванюк Віталій Григорович, інженер відділу “Методів і систем дистанційного зондування “ Фізико-механічного інституту ім. Г.В.Карпенка НАНУ. Наукові інтереси: обробка та розпізнавання зображень. Адреса: Україна, 79601,

Львів, вул. Наукова, 5а, тел:2296-530, e-mail: vivan@imp.lviv.ua

Капшій Олег Вірославович, канд. техн. наук, н.с відділу “Методів і систем дистанційного зондування “ Фізико-механічного інституту ім. Г.В.Карпенка НАНУ. Адреса: Україна, 79601, Львів, вул. Наукова, 5а. тел: 22-96-530, e-mail: dep32@ipm.lviv.ua