

ВИМІРЮВАННЯ, КОНТРОЛЬ І ТЕХНІЧНА ДІАГНОСТИКА

УДК 622.692.4

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИЯВЛЕННЯ НА ФОТОГРАФІЇ ЛАЗЕРНОЇ ПРОЕКЦІЇ ТВІРНОЇ СТІНКИ ВЕРТИКАЛЬНОГО СТАЛЕВОГО ЦИЛІНДРИЧНОГО РЕЗЕРВУАРА

Х.В. Паньків

*ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська 15, тел. (0342) 727170
e-mail: ktsu@nimg.edu.ua*

Розроблено програмне забезпечення в середовищі Matlab для обробки фотографії з метою виявлення лазерної проекції твірної стінки вертикального сталевого циліндричного резервуара. Наведено алгоритм та головне вікно програми визначення координат за фотографією. Детально описано методику обробки фотографії з метою автоматичного виявлення проекції твірної у вигляді двовимірного бінарного масиву даних, який на фотографії відображено білою лінією (твірною) на чорному тлі. Розглянуто принципи роботи розробленого програмного забезпечення, для чого наведено проміжні результати обробки фотографії, такі як декореляційне розтягнення, розбиття за основними кольорами та бінаризація зображення за певним рівнем. Вказано можливості додаткової обробки зображень, які можуть бути застосовані в майбутніх вдосконалених версіях програми.

Ключові слова: вертикальний сталевий циліндричний резервуар, фотографія, бінаризація, обробка зображення, декореляційне розтягнення.

Разработано программное обеспечение в среде Matlab для обработки фотографии с целью выявления лазерной проекции образующей стенки вертикального стального цилиндрического резервуара. Приведен алгоритм и главное окно программы определения координат по фотографии. Подробно описана методика обработки фотографии с целью автоматического обнаружения проекции образующей в виде двумерного бинарного массива данных, который на фотографии отображено белой линией (образующей) на черном фоне. Рассмотрены принципы работы разработанного программного обеспечения, для чего приведены промежуточные результаты обработки фотографии, такие как декорреляционное растяжение, разбиение по основным цветам и бинаризация изображения по определенному уровню. Указано возможности дополнительной обработки изображений, которые могут быть применены в будущих усовершенствованных версиях программы.

Ключевые слова: вертикальный стальной цилиндрический резервуар, фотография, бинаризация, обработка изображения, декорреляционное растяжение.

The software for photographs handling to detect laser projection of wall generatrix of vertical cylindrical steel tank is developed using Matlab environment. The algorithm and the main window of program for coordinate determination using photography is given. Detailed described the photo processing method for the generatrix projection automatic detection in the form of a two-dimensional array of binary data that appears in a photo with a white line (traces) on black background. The developed software operation principles are shown, wherefore the intermediate results of processing photos are given, like dekorelation stretching, breakdown by main colors and image binarization using determined level. The additional image processing capabilities that can be applied in future improved versions are specified.

Keywords: vertical cylindrical steel tank, photography, binarization, image processing, dekorelation stretching.

Одним з основних параметрів для контролю технічного стану вертикальних сталевих циліндричних резервуарів (РВС) є інформація про їх напружено-деформований стан (НДС), зокрема розподіл напружень в стінці резервуа-

ра [1]. В зв'язку з тим, що існуючі експериментальні методи визначення НДС вимагають прямого контакту з поверхнею резервуара, володіють низькою оперативністю та є складними в застосуванні для таких великогабаритних об'

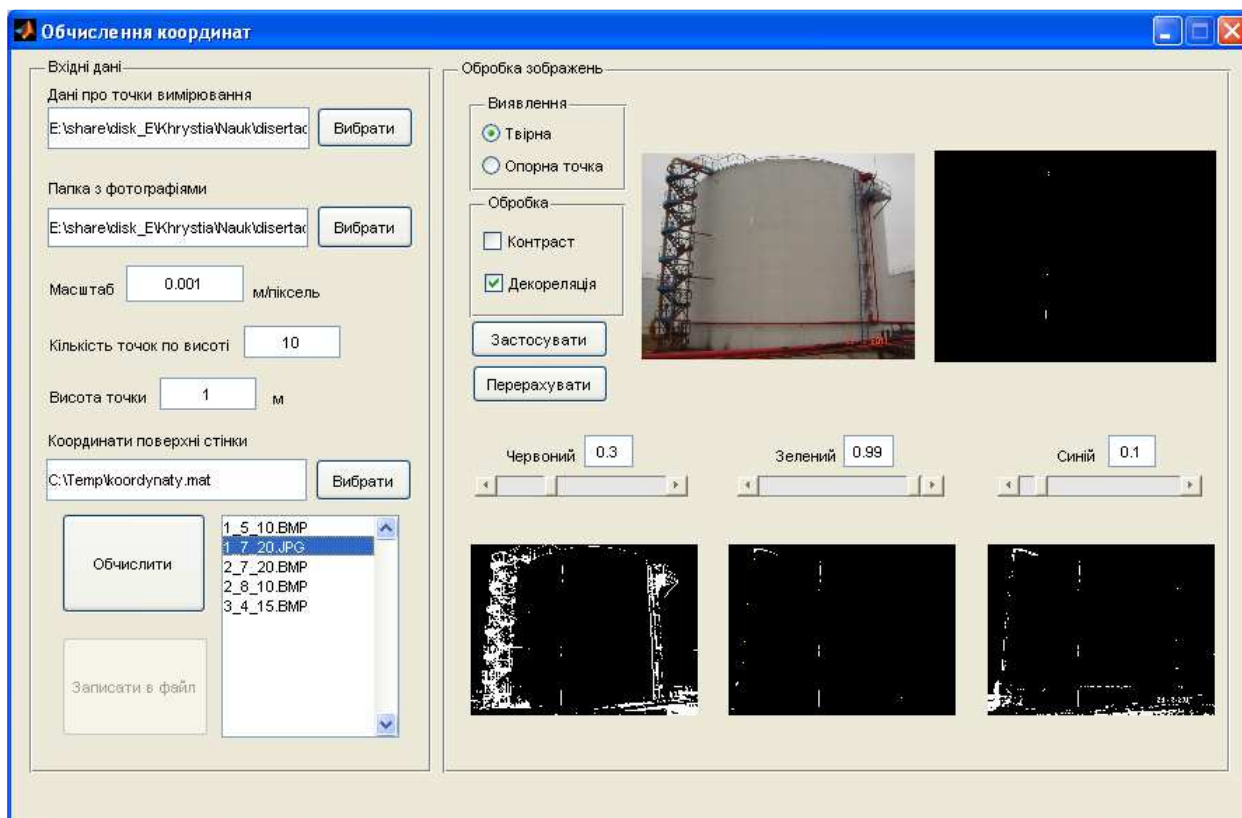


Рисунок 1 – Головне вікно програми для обробки фотографій

ектів, якими є РВС [2, 3, 4, 5], а для використання існуючих математичних методів необхідна інформація про всі сили та навантаження, які діють на резервуар, що в більшості випадків є можливим лише з великим наближенням [6, 7, 8], автором розроблено метод та систему контролю зміни НДС матеріалу стінки РВС за координатами точок поверхні стінки РВС в два моменти часу без врахування сил та навантажень, які діють на резервуар [9].

Вхідними даними для розробленої системи є координати точок поверхні стінки РВС в два моменти часу. Ці дані можна отримати в результаті калібрування РВС геометричним методом згідно ДСТУ 4147-2003 [10], проте ця процедура є досить трудомісткою та вимагає забезпечення доступу до елементів контролю, що є не завжди можливим повною мірою при діагностуванні без виведення резервуара з експлуатації. Існуючі лазерні скануючі системи [11, 12] є простими в експлуатації, проте їх вартість є високою, що перешкоджає їх широкому застосуванню в Україні. Для зменшення трудомісткості визначення координат точок поверхні стінки РВС автором розроблено метод та систему безконтактного вимірювання [13], ціна якої буде прийнятною для української промисловості. Розроблена система включає в себе розроблений кутовий позиціонер, що проектує вертикальну розгортку лазерного променя під заданим кутом та опорну точку лазером іншого кольору на заданій висоті, до якої вимірюється відстань за допомогою лазерного далекоміра, та фотоапарата для отримання фотографії підсві-

ченої лазерною розгорткою твірної стінки резервуара. Для автоматизації процесу обробки отриманих фотографії можна використовувати існуюче програмне забезпечення, наприклад Adobe Photoshop, Picasa, PhotoFiltre [14, 15, 16] та інші, а координати точок поверхні стінки обчислювати за наведеними в [13] формулами за допомогою математичних програм, таких як MathCAD [17]. Проте ці програми не враховують всіх особливостей розробленої системи та можуть бути використані лише для окремих частин задачі, що значно ускладнює роботу, тому автором було розроблено спеціальне програмне забезпечення в середовищі Matlab [18], для чого створено m-файл Koordynaty.m.

Для запуску програми в командному рядку Matlab вводиться Koordynaty, після чого з'явиться вікно програми для визначення координат за фотографією проекції розгортки лазерного променя на стінку резервуара (рис. 1).

Спочатку на панелі "Вхідні дані" (рис. 2) в полі "Дані про точки вимірювання" вибирається файл, в якому знаходяться дані про координати всіх положень опори і їх кількість. Також в цьому файлі знаходяться внутрішні параметри фотоапарата, визначені за результатами його калібрування [19, 20]: фокусна відстань, кут нахилу пікселів, принципова точка та коефіцієнти дисторсії. Після цього стане доступним для вводу поле "Папка з фотографіями" для папки, в якій містяться фотографії. Назви файлів з фотографіями повинні мати формат N_DD_FF.jpg, де N – номер опори, з якої проводилося фотографування, DD – відстань в метрах до опори,

FF – кут в градусах, на який повернеться лазер від нормалі стінки резервуара (кут змінюється від 0 до 90°). Далі вводиться масштаб фотографії [21], який визначається за розміром матриці та роздільною здатністю фотоапарата, які входять у його технічні характеристики, кількість точок вимірювання по висоті резервуара та висоту, на якій знаходиться опорна точка, до якої проводяться вимірювання відстані та кута.

Рисунок 2 – Панель вводу даних

Також на цій панелі є список усіх зображень, в якому можна вибрати фотографію для покращення її обробки в ручному режимі. Вибрана фотографія і результати її обробки виводяться на панель “Обробка зображень” (рис. 3),

де можна змінити параметри обробки. При виборі фотографії на панелі “Обробка зображень” з’явиться вибрана фотографія (рис. 4), проміжні результати її обробки та остаточне бінарне зображення.



Рисунок 4 – Частина фотографії лазерної підсвітки проекції твірної

З метою виявлення проекції скануючої лазерної лінії на твірну стінки резервуара, яка може бути використана для подальшого обчислення координат твірної автоматично, необхідно провести попередню обробку зображення, результати якої наведено нижче.

Для виявлення твірної на фотографії та автоматичного визначення координат точок твірної відносно опорної точки фотографії обробляються за допомогою декореляційного розтягнення (рис. 5) при встановленні позначки в вікні “Декореляція”, яке покращує співвідношення

Рисунок 3 – Панель обробки зображень

кольорів на зображенні з урахуванням кореляційних залежностей. При перетворенні значень вихідних кольорів зображення діапазон відображення, в більшості випадків, збільшується. Інтенсивності кольорів кожного пікселя перетворюються у власний колірний простір з кореляційною матрицею, розтягуються, вирівнюються і трансформуються назад [22].

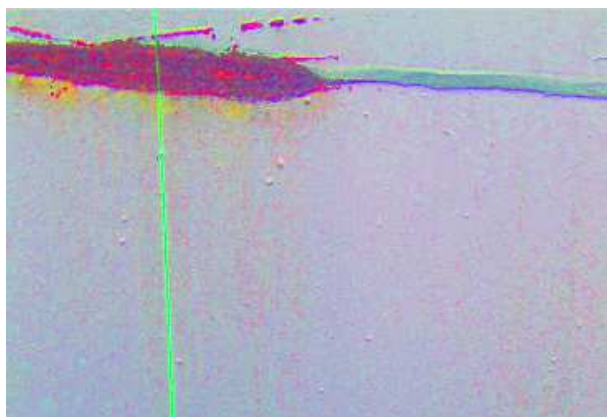


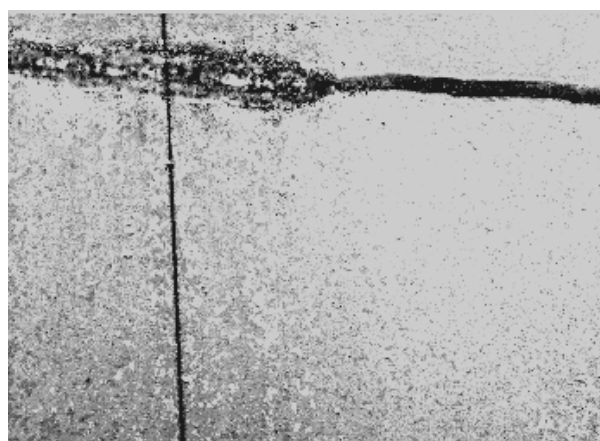
Рисунок 5 – Результат обробки фотографії за допомогою декореляції

Як видно з рис. 5, скануючу лінію чітко видно на фотографії. Проте цього недостатньо для автоматичного обчислення її координат. Тому після цього фотографія розбивається за трьома основними кольорами (рис. 6) (червоний, зелений та синій), де видно, що по червоному та синьому кольорах скануючу лінію можна чітко виявити, проте на фотографії є надлишкові елементи, які унеможливають автоматичне визначення координат проекції.

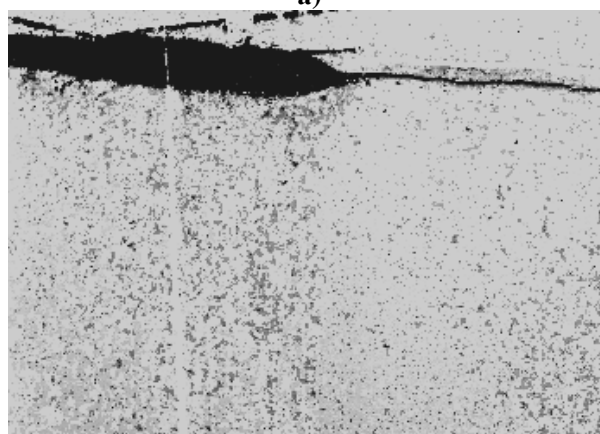
Далі проводиться бінаризація по кожному кольору (рис. 7), яка полягає у перетворенні його пікселів в масив бінарних елементів: в «1», якщо інтенсивність кольору перевищує задане значення, і в «0» в протилежному випадку [23]. Для кожного кольору можна визначити рівень бінаризації, для чого за допомогою поля бігунка вводиться значення інтенсивності кольору, яка служить границею при бінаризації.

Результати бінаризації по кольорах можна інвертувати, відмічаючи відповідне поле. Після натискання кнопки “Застосувати” результати бінаризації по трьох кольорах перемножуються, а одержане бінарне зображення виведеться на екран (рис. 8).

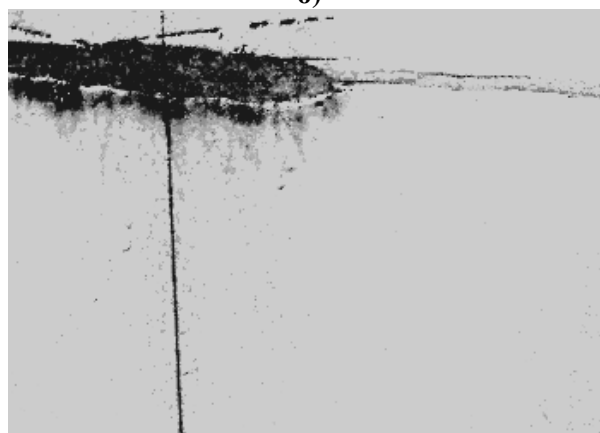
Результатом обробки зображення є бінарний масив, де одиницями (білий колір на рисунку) позначена проекція лазерного променя на твірну резервуара (рис. 8). Робота з таким масивом проводиться програмою автоматично, без участі оператора. Для обчислень координат беруться середні значення відповідного рядка. Якщо в результаті обробки фотографії не вдалося виявити твірну як суцільну лінію, доцільно скористатися інтерполяційними процедурами [24] з метою обчислення координат точок, виявити які на фотографії не вдалося.



а)



б)



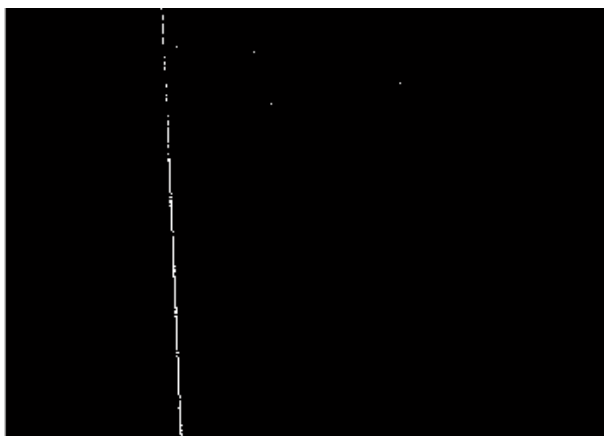
в)

Кольори: а) червоний, б) зелений, в) синій

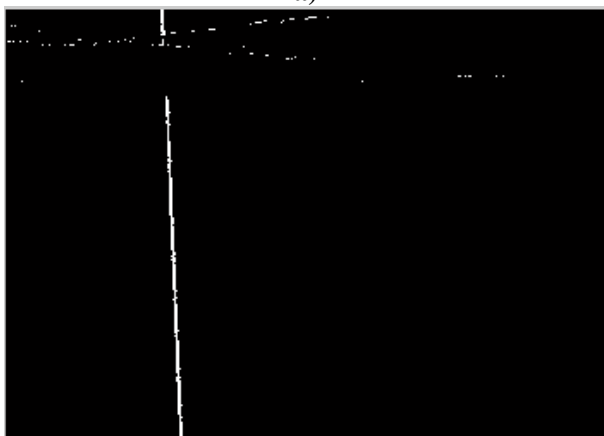
Рисунок 6 – Розбиття фрагменту фотографії за кольорами

Також в програмі передбачено можливість ручного регулювання точності виявлення лазерної проекції твірної на фотографії шляхом вибору методів обробки зображення, які будуть застосовані, порядку застосування та їх параметрів. Після натискання кнопки “Перерахувати” координати по вибраній фотографії перераховуються з новими налаштуваннями.

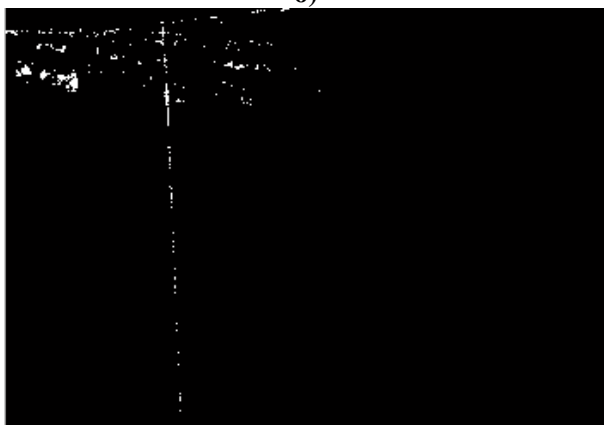
Також для додаткової обробки фотографії з метою виявлення твірної можна використовувати різні фільтри, які є в середовищі Matlab, зокрема фільтр Віннера, усереднений фільтр, фільтр Собеля, Гаусівський фільтр та ін. [25, 26].



а)



б)



в)

- а) інвертована бінаризація з порогом інтенсивності червоного кольору 0.3,
- б) бінаризація з порогом інтенсивності зеленого кольору 0.99,
- в) інвертована бінаризація з порогом інтенсивності синього кольору 0.3

Рисунок 7 – Бінаризація за кольорами

Слід звернути увагу, що обробку фотографії слід проводити окремо для розпізнавання на ній твірної та опорної точки, для чого встановлені перемикачі “Виявлення”. Для зменшення додаткової обробки фотографії можна за координатами опорної точки виділити зону, в якій безпосередньо знаходиться підсвічена твірна, і проводити обробку лише цієї ділянки.



Рисунок 8 – Результат перемноження бінаризації за кольорами

За результатами обробки фотографій після натискання на кнопку “Обчислити” за алгоритмом, наведеним на рис. 9, обчислюються координати точок поверхні стінки резервуара згідно з розробленою методикою [13]. Після обробки всіх фотографій результати обчислень координат можна записати в файл, назва якого вказується в полі “Координати поверхні стінки”.

Таким чином, розроблене програмне забезпечення дозволяє автоматизувати процес обчислення координат точок поверхні стінки РВС за одержаними за допомогою розробленої системи фотографіями проєкцій лазерних ліній на твірні стінки резервуара. Воно є простим в застосуванні і дозволяє одержувати файли з координатами точок поверхні стінки РВС, які можуть бути використані в системі оцінки зміни НДС матеріалу стінки РВС за методикою, розробленою в [9], без додаткової обробки. Одержані результати можна використовувати також для калібрування резервуара. В подальших дослідженнях можна підвищувати точність обробки фотографій шляхом застосування різного роду фільтрів з метою точнішого виділення на фотографіях лазерної проєкції твірної стінки РВС.

Література

- 1 Настанова з проведення технічного діагностування вертикальних сталевих резервуарів [Текст] : ДСТУ–Н Б А.3.1–10:2008. – [Чинний від 2009–07–01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 63 с. – (Національний стандарт України).
- 2 Замиховский Л.М. Анализ современных методов оценки напряженно-деформированного состояния стальных вертикальных цилиндрических резервуаров [Текст] / Л. М. Замиховский, Х. В. Мартынюк // Методы и средства технической диагностики: XXIII междунар. межвузовская школа-семинар, 28 июня-5 июля 2006 г. : сборник научных статей, вып. XXIII. – Йошкар-Ола, 2006. – С. 165–174.
- 3 Tank Inspection, Repair, Alteration, and Reconstruction [Текст] : API Standard 653. – [Чинний від 1996-08-01]. – American Petroleum Institute, Second Edition, December 1995.

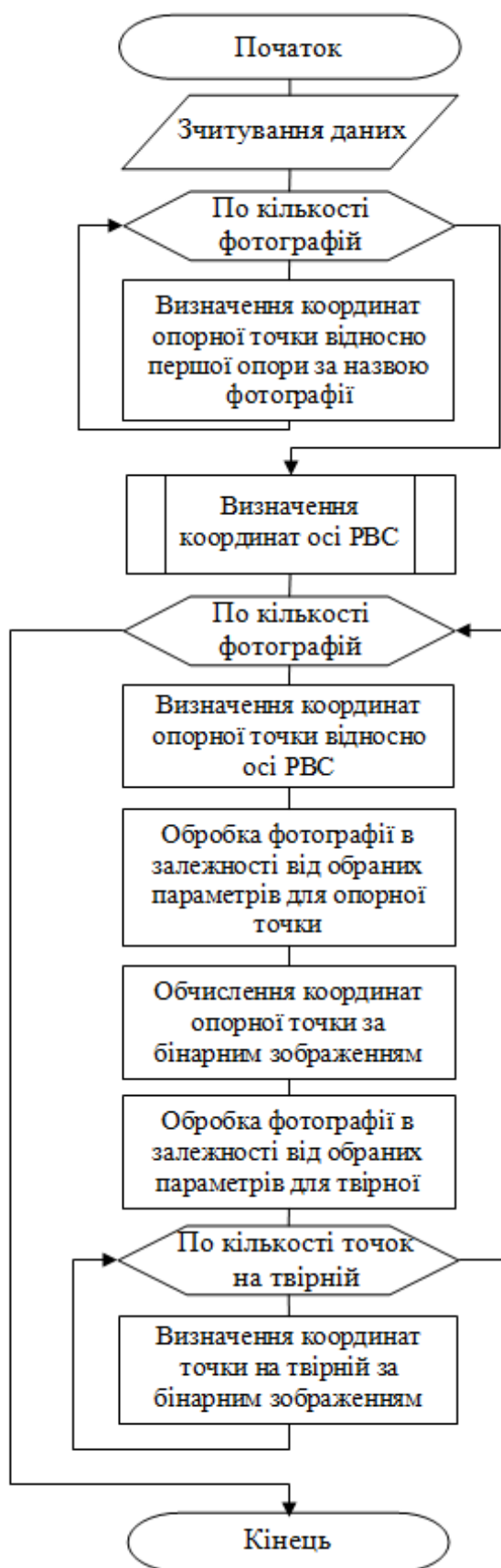


Рисунок 9 – Схема алгоритму визначення координат за фотографією

4 Ключев В. В. Неразрушающий контроль и диагностика: справочник [Текст] / В. Ключев, Ф. Соснин, А. Ковалев. – М. : Машиностроение, 2003. – 656 с. – ISBN5–217–03178.

5 Касаткин Б. С. Экспериментальные методы исследования деформаций и напряжений : справочник [Текст] / Б. Касаткин, А. Кудрин, Л. Лобанов. – К. : Наукова думка, 1981. – 584 с.

6 Abdus Satter. Practical Enhanced Reservoir Engineering: Assisted With Simulated Software [Текст] / Abdus Satter, Ghulam M. Iqbal, James L. Buchwalter. – Penn Well Corporation, Tulsa, Oklahoma, 2007. – 688 с.

7 Власов В. З. Общая теория оболочек и ее приложение в технике [Текст] : учебное пособие / В. З. Власов. – М.: Гостехиздат, 1979. – 784 с.

8 Bruschi R. Finite Element Method as Numerical Laboratory for Analysing Pipeline Response under International Pressure, Axial Load, Bending Moment [Текст] / R. Bruschi, P. Monti, G. Bolzoni, R. Tagliaferri – OMAE'95. – 1995.

9 Паньків Х. В. Контроль зміни напружено-деформованого стану стінок вертикальних сталевих циліндричних резервуарів [Текст] / Х. В. Паньків // Восточно-европейский журнал передових технологий. – 2013. – № 2/7 (262). – С. 50–52.

10 Метрологія. Резервуари сталеві вертикальні циліндричні. Методика повірки (ГОСТ 8.570–2000. MOD) [Текст] : ДСТУ 4147–2003. – [Чинний від 2003–01–01]. – К.: Держспоживстандарт, 2003. – 74 с. – (Національний стандарт України).

11 Leica Geosystems – when it has to be right [Електронний ресурс] / Leica Geosystems. – Sweden, 2013. – Режим доступу : <http://www.leica-geosystems.com/en/index.htm>.

12 Transforming the Way the World Works. Engineering & Construction, Surveying, Agriculture, Fleet and Field Service Management [Електронний ресурс] / Trimble. – USA, 2013. – Режим доступу : <http://www.trimble.com>.

13 Паньків Х. В. Система для безконтактного вимірювання координат точок поверхні стінки вертикальних сталевих циліндричних резервуарів / Х. В. Паньків. // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2014. – № 2 (51). – С. 179–186.

14 Adobe Photoshop CC [Електронний ресурс] / Adobe Systems Incorporated. – USA, 2014. – Режим доступу : <http://www.adobe.com/products/photoshop.html>

15 Picasa [Електронний ресурс] / Google. – USA, 2014. – Режим доступу : <http://picasa.google.com/>

16 PhotoFiltre [Електронний ресурс] / Antonio Da Cruz. – Canada, 2014. – Режим доступу : <http://www.photofiltre.com/>

17 PTC MathCAD [Електронний ресурс] / PTC Inc. – USA, 2014. – Режим доступу : <http://ru.ptc.com/product/mathcad>

- 18 Ануфриев И. Е. MATLAB 7 [Текст] / И. Ануфриев, А. Смирнов, Е. Смирнова. – СПб.: БХВ–Петербург, 2005. – 1104 с. – ISBN 5–94157–494–0.
- 19 Zhang Z. A flexible new technique for camera calibration [Електронний ресурс] / Z. Zhang // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2000. – Vol. 22, №11. – P. 1330-1334. – Режим доступу : <http://research.microsoft.com/en-us/um/people/zhang/Papers/TR98-71.pdf/>
- 20 Bouguet J. Camera Calibration Toolbox for Matlab [Електронний ресурс] / Jean-Yves Bouguet. – USA, 2010. – Режим доступу : http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/index.html.
- 21 Назаров А. С. Фотограмметрия [Текст] : учеб. пособие для студентов вузов / А. С. Назаров. – Мн.: ТетраСистемс, 2006. – 368 с. : ил. – ISBN 986-470-402-5.
- 22 MATLAB. The Language of Technical Computing. Using MATLAB [Електронний ресурс] / The MathWorks, Inc, 2000. – Режим доступу : www.mathworks.com/products/matlab/
- 23 Exponenta.ru. Образовательный математический сайт [Електронний ресурс] / Softline. – Режим доступу : <http://matlab.exponenta.ru/mltb/default.php>.
- 24 Самарский А. А. Численные методы [Текст] : учебное пособие / А. А. Самарский, А. В. Гулин. – М.: Наука, 1989. – 432 с.
- 25 Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB [Текст] : учебное пособие / Р. Гонсалес, Р. Вудс, С. Эддинс. – М.: Техносфера, 2006. – 616 с. – ISBN 5–94836–092–Х.
- 26 Кетков Ю. Л. MATLAB 7: программирование, численные методы / Ю. Кетков, А. Кетков, М. Шульц. – СПб.: БХВ–Петербург, 2005. – 752 с. – ISBN 5–94157–347–2.

*Стаття надійшла до редакційної колегії
27.10.14*

*Рекомендована до друку
професором **Заміховським Л.М.**
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)
професором **Лютаком І.З.**
(Прикарпатський національний університет
ім. В. Стефаника, м. Івано-Франківськ)*