

*В.М. Краснов к.т.н., доц., М.Е. Кіреєв, магістр, Д.В. Смолич, магістр  
(Національний авіаційний університет, Україна, м. Київ)*

## **ПРИЛАД ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ШОРСТКОСТІ НОВОЗБУДОВАНИХ ЗЛІТНО-ПОСАДКОВИХ СМУГ**

*Розглянуто триангуляційний метод вимірювання шорсткості. Описано методику проведення вимірювання, обробки та візуалізації отриманої інформації розробленим приладом*

Важливість вимірювання шорсткості ЗПС обумовлена її зв'язком з коефіцієнтом зчеплення, тобто гальмівних здатностей літака. Крім цього аспекту, що відноситься до безпеки, результатом поганих характеристик зчеплення може бути значне зниження регулярності та ефективності польотів. Необхідно, щоб поверхня ЗПС із штучним покриттям була побудована так, щоб на мокрій ЗПС забезпечувалися хороші характеристики зчеплення. Коефіцієнт зчеплення між пневматиком і ЗПС залежить від ряду факторів, таких як швидкість, текстура поверхні, тип забруднення ЗПС, товщина шару забруднення, склад гуми пневматика, конструкція пневматика, рисунок протектора пневматика, температура поверхні протектора, знос пневматика, тиск пневматика, ефективність системи гальмування, гальмівний момент, коефіцієнт проковзування колеса і пори року. Параметром, який в найбільш значній мірі визначає величину зчеплення що досягається з мокрою поверхнею і співвідношення зчеплення/швидкість, є мікро-/макротекстура поверхні.

Рекомендується, щоб середня глибина макротекстури нової поверхні була не менше 1 мм. Для визначення середньої глибини макротекстури слід проводити репрезентативні проби по всій поверхні. На даний момент в Україні широко застосованими методами вимірювання глибини макротекстури поверхні є методи заливки мастильним матеріалом та засипання піском. Застосування вищезгаданих методів не є оперативним, вимагає видалення нанесеного матеріалу та не дає можливості контролювати якість нанесення поглиблень (боріздок) при будівництві.

Розроблений нами прилад працює на основі методу лазерної триангуляції, і дозволяє вимірювати глибину нанесених поглиблень безконтактно.

Триангуляційний метод контролю заснований на розрахунку шуканої відстані через співвідношення трикутника з використанням відомих параметрів системи. Він дозволяє вимірювати як відносну зміну відстані від датчика до контрольованого об'єкту, так і абсолютну його величину. Відстань може мати масштаб від декількох мікрометрів до сотень і тисяч метрів (при геодезичних застосуваннях) [1].

Триангуляційну схему (рис. 1) умовно можна розділити на три частини: випромінювальний (або освітлювальний) канал, контрольована поверхня, приймальний канал [2].

Перша частина схеми – випромінювальний канал, який складається з джерела випромінювання та об'єктива, який формує зондуєчий пучок на контрольованій поверхні. В якості джерела випромінювання, як правило, використовується лазерний діод. Об'єктив складається з однієї або декількох оптичних лінз. Відносне положення об'єктива і лазерного діода визначає параметри випромінювального каналу. Щоб налаштувати лазерний модуль необхідно виставити перетяжку в центр діапазону вимірювання і відцентрувати зондуєчий пучок.

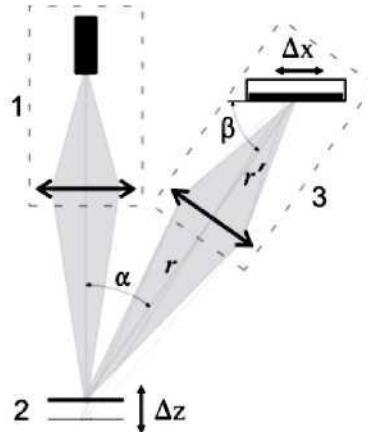


Рис. 1. Принципова схема триангуляційного вимірювача: 1 – випромінювальний канал, 2 – контрольована поверхня, 3 – приймальний канал

Друга невід'ємна частина триангуляційної вимірювальної схеми – це контрольована поверхня. Кожна поверхня має властивість відбивати або розсіювати падаюче випромінювання. Розсіяне поверхнею контрольованого об'єкта випромінювання використовується в триангуляції як фізична основа для отримання інформації про відстань до цієї поверхні.

Третя частина схеми триангуляційного вимірювача – приймальний канал, який складається з проєкціуючого об'єктива і фотоприймача. Проєкціуючий об'єктив формує зображення зондуєчої плями в площині фотоприймача. Чим більше діаметр  $D$  об'єктива, тим вище його світлосила. Інакше кажучи, тим інтенсивніше і якісніше буде зображення плями.

Схема триангуляційного вимірювача (див. рис. 1) працює таким чином: Випромінювальний канал 1 формує зображення світлової плями на контрольованій поверхні 2. Далі розсіяне контрольованою поверхнею світло попадає в приймальний канал 3. Таким чином, в площині фотоприймача створюється зображення освітленої ділянки контрольованої поверхні (світлова пляма). При зсуві контрольованої поверхні на величину  $\Delta Z$  світлова пляма в площині фотоприймача зміщується на величину  $\Delta X$ . Залежність зміщення контрольованої поверхні  $\Delta Z$  від зсуву світлової плями в площині фотоприймача  $\Delta X$ , має такий вигляд:

$$\Delta Z = r \cdot \frac{\sin \varphi}{\sin(\alpha - \varphi)}$$

де  $\varphi = \arctg(A \cdot \Delta X / (1 + B \cdot \Delta X))$ ,  $A = \sin \beta / r'$ ,  $B = -\cos \beta / r'$

$r$  – відстань від контрольованої поверхні 2 до проєцюючого об'єктиву приймаючого каналу;  $r'$  – відстань від проєцюючого об'єктиву до фотоприймача.

Як показано на рис. 2, якщо в якості зондуючого пучка використовувати лазерну лінію, створену за допомогою циліндричної лінзи, то на фотоприймачі сформується лінія, що відповідає профілю контрольованої поверхні.

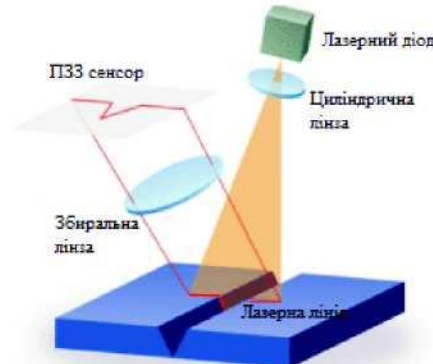


Рис. 2. Триангуляційний вимірювач з лазерною лінією

В розробленій установці в якості випромінювального каналу використовується лазерний діод та циліндрична лінза. В результаті чого на поверхні ЗПС формується лазерний пучок у вигляді тонкої лінії. Приймальний канал являє собою цифрову фотокамеру SONYDSC-H55. Це полегшує задачу конструювання, так як проєцюючий об'єктив та фотоприймач (ПЗЗ матриця) виконані в єдиному корпусі.

За допомогою лазерного випромінювача на фрагменті ЗПС утворюється лінія. Площина лазерного пучка є перпендикулярною до площини фрагменту ЗПС. Цифрова фотокамера розташована під строго заданим кутом  $\alpha$  (див. рис. 1) до площини лазерного пучка. При фотографуванні фрагменту ЗПС на фотографії буде видно червону лінію, яка чітко описує профіль цього фрагменту. Фотографія має вигляд зображений на рис. 3.

Таким чином, вихідним сигналом з розробленого вимірювача є цифрове зображення, яке оброблюється в середовищі MatLab за допомогою стандартного пакету програмування ImageProcessingToolbox.

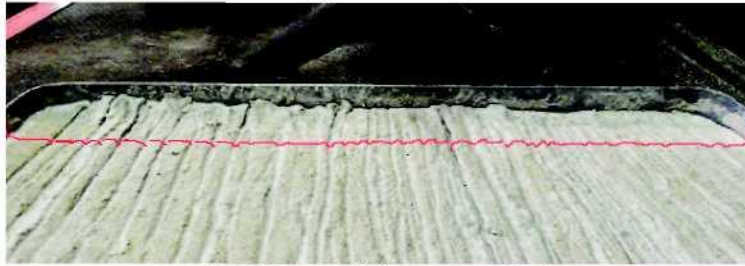


Рис. 3. Лазерна лінія на поверхні ЗПС

Після обробки отримаємо чисельні значення глибини боріздок та робимо висновки щодо їх геометричних параметрів. Геометричні параметри є похідними від характеристик текстури поверхні покриття ЗПС. Зокрема, середня глибина профілю (СГП) визначається як різниця між середнім арифметичним двох піків і середній рівень на 100 мм лінії сканування.

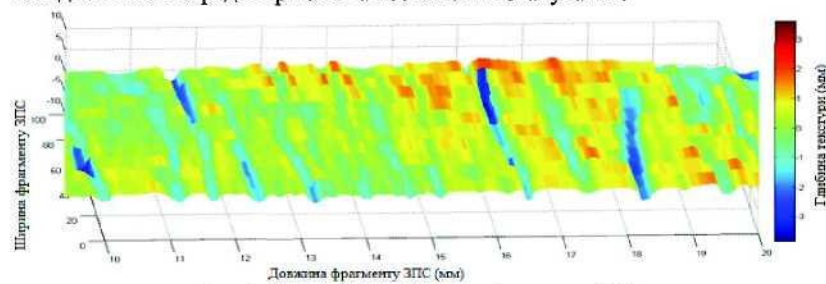


Рис. 4. Тривимірне зображення фрагменту ЗПС

#### Висновки

Розроблений прилад дозволяє будувати тривимірні зображення просканованих фрагментів ЗПС з подальшим їх аналізом аеропортовими службами та визначенням таких параметрів як: середня шорсткість, пікова висота поглиблення, глибина вирівнювання, середня глибина та ін.. Прилад був випробуваний в лабораторії на бетонному фрагменті ЗПС з розмірами 30 x 40 см, з нанесеними поглибленнями (боріздками) різної глибини (0.5 – 3 мм). Похибка визначення глибини профілю складає 0.09 мм.

#### Список літератури

1. PIARC World Road Association Report of the Committee on Surface Characteristics. Proceeding of XVIII World Road Congress; Brussels, Belgium. 13–19 September 1987.
2. Guidi G., Russo M., Magrassi G., Bordoni M. A performance evaluation of triangulation based range sensors. Sensors. 2010;10:7192–7215.