



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **140678** (13) **U**  
(51) МПК  
**G01N 11/04** (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ  
ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА  
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА  
УКРАЇНИ

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: <b>u 2019 08063</b>	(72) Винахідник(и): <b>Подчашинський Юрій Олександрович (UA), Колодницька Руслана Віталіївна (UA)</b>
(22) Дата подання заявки: <b>12.07.2019</b>	(73) Власник(и): <b>ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА", вул. Чуднівська, 103, м. Житомир, 10005 (UA)</b>
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>10.03.2020</b>	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>10.03.2020, Бюл.№ 5</b>	

## (54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ПОВЕРХНЕВОГО НАТЯГУ РІДИНИ

### (57) Реферат:

Спосіб визначення поверхневого натягу рідини включає формування за допомогою дозуючої системи краплі рідини, що звисає з нижнього отвору вертикально розташованої капілярної трубки, формування ряду зображень краплі рідини за допомогою оптичної системи та цифрової відеокамери, визначення екваторіального діаметра краплі та діаметра краплі на відстані від нижнього краю краплі, що дорівнює екваторіальному діаметру, обчислення на основі визначених діаметрів краплі поверхневого натягу рідини. Попередньо дозуючу систему налаштовують таким чином, щоб забезпечити нерухоме розташування сформованої краплі на нижньому отворі капілярної трубки відносно цифрової відеокамери, після формування ряду зображень краплі рідини цей ряд передають в цифрову електронну обчислювальну машину (ЕОМ) та отримують одне підсумкове зображення краплі рідини шляхом усереднення значень цифрових відліків яскравості і кольору, що наявні на кожному з зображень ряду і відповідають точкам з однаковими координатами. Після цього підсумкове зображення краплі рідини використовують для визначення екваторіального діаметра краплі та діаметра краплі на відстані від нижнього краю краплі, що дорівнює екваторіальному діаметру, шляхом алгоритмічної обробки цього зображення в цифровій ЕОМ.

UA 140678 U



Корисна модель належить до галузі вимірювальної техніки і може бути використана для підвищення точності вимірювань поверхневого натягу різних рідини в ході наукових досліджень або поточного контролю фізико-механічних властивостей цих рідин.

5 Поширеним способом визначення поверхневого натягу рідини є дослідження геометричних параметрів крапель рідини, що знаходяться у стані статичної рівноваги, коли вплив сили тяжіння на краплю врівноважується дією сил поверхневого натягу рідини. На основі отриманих значень геометричних параметрів обчислюється поверхневий натяг рідини, що досліджується [1]. Одним з сучасних та ефективних способів вимірювання геометричних параметрів об'єкта вимірювань (крапель рідини), що досліджують, є формування його зображення, введення цього зображення в цифрову електронну обчислювальну машину (ЕОМ) та визначення геометричних параметрів об'єкта вимірювань за його зображенням [2]. Цифрова ЕОМ реалізує алгоритмічні методи обробки зображень, що можуть забезпечити підвищення точності результатів вимірювань. Тому актуальною науково-технічною задачею є розробка ефективних способів визначення поверхневого натягу рідини, що використовують зображення крапель рідини та алгоритмічні методи їх обробки в цифровій ЕОМ і забезпечують на цій основі високоточні вимірювання поверхневого натягу.

Відомий спосіб визначення поверхневого натягу рідини [3], що вибраний за найближчий аналог.

20 Як і спосіб - корисна модель, спосіб - найближчий аналог включає формування за допомогою дозуючої системи краплі рідини, що звисає з нижнього отвору вертикально розташованої капілярної трубки, формування ряду зображень краплі рідини за допомогою оптичної системи та цифрової відеокамери, визначення екваторіального діаметра краплі та діаметра краплі на відстані від нижнього краю краплі, що дорівнює екваторіальному діаметру, обчислення на основі визначених діаметрів краплі поверхневого натягу рідини.

25 Проте, на відміну від способу-корисної моделі, у способі-найближчого аналога для визначення екваторіального діаметра краплі та діаметра краплі на відстані від нижнього краю краплі, що дорівнює екваторіальному діаметру, використовується тільки одне зображення краплі у поточний момент часу. За цими значеннями діаметрів краплі обчислюється поточна оцінка поверхневого натягу рідини.

30 В процесі набуття стану статичної рівноваги крапля дещо змінює свою форму. Тому для кожного сформованого зображення в способі - найближчого аналога отримують дещо відмінні значення координат контурних точок краплі, її діаметрів та поверхневого натягу рідини. Ці відмінності призводять до виникнення суттєвої похибки визначення поверхневого натягу рідини.

35 В процесі формування зображення за допомогою цифрової відеокамери до зображення додаються шуми, що виникли в перетворювачі "світло-сигнал" та інших електронних схемах цифрової відеокамери. Ці шуми є негативним фактором, що суттєво знижує точність вимірювань діаметрів краплі.

40 Сформоване за допомогою цифрової відеокамери зображення має дискретний характер і представляє собою двовимірну матрицю, кожна комірка якої містить значення яскравості і кольору поверхні об'єкта вимірювань. Ці значення відповідають точкам зображення, що розташовані у вузлах прямокутної сітки, якою умовно покрита поверхні об'єкту вимірювань. Алгоритмічна обробка зображення та аналіз значень яскравості і кольору точок зображення дозволяють визначити координати точок зовнішнього контуру краплі з похибкою, що обумовлена дискретним характером зображення та дорівнює  $\pm\Delta_x/2$ , де  $\Delta_x$  - відстань по горизонталі між сусідніми вузлами прямокутної сітки [4]. Діаметри краплі у способі-найближчого аналога визначаються як різниця координат двох точок зовнішнього контуру краплі і мають похибку  $\pm\Delta_x$ . Обчислення поверхневого натягу рідини за діаметрами краплі, визначеними з вказаними похибками, на основі формул, що містять операції множення та ділення [1], призводить до виникнення суттєвої похибки визначення поверхневого натягу.

50 Таким чином, суттєвим недоліком найближчого аналога є низька точність визначення координат контурних точок та діаметрів краплі рідини, і, як наслідок, суттєве зниження точності визначення поверхневого натягу рідини.

55 В основу корисної моделі поставлена задача удосконалення способу визначення поверхневого натягу рідини, щоб забезпечити підвищення точності визначення координат контурних точок та діаметрів краплі рідини, і, як наслідок, суттєве підвищення точності визначення поверхневого натягу рідини. Поставлена задача вирішується тим, що попередньо дозуючу систему налаштовують таким чином, щоб забезпечити нерухоме розташування сформованої краплі на нижньому отворі капілярної трубки відносно цифрової відеокамери, після формування ряду зображень краплі рідини цей ряд передають в цифрову ЕОМ та отримують одне підсумкове зображення краплі рідини шляхом усереднення значень цифрових

відліків яскравості і кольору, що наявні на кожному з зображень ряду і відповідають точкам з однаковими координатами, після чого підсумкове зображення краплі рідини використовують для визначення екваторіального діаметра краплі та діаметра краплі на відстані від нижнього краю краплі, що дорівнює екваторіальному діаметру, шляхом алгоритмічної обробки цього зображення в цифровій ЕОМ.

Стабільне розташування контуру нерухомої краплі на зображеннях забезпечується за рахунок попереднього налаштування дозуючої системи. При цьому підбирається об'єм рідини краплі та швидкість її подачі до капілярної трубки таким чином, щоб забезпечити у підсумку нерухоме розташування сформованої краплі у стані статичної рівноваги на нижньому отворі капілярної трубки відносно цифрової відеокамери.

Підвищення точності визначення координат контурних точок краплі та її діаметрів забезпечується за рахунок того, що після формування ряду зображень їх передають в цифрову ЕОМ та отримують одне підсумкове зображення краплі рідини шляхом усереднення значень цифрових відліків яскравості і кольору, що наявні на кожному з зображень ряду і відповідають точкам з однаковими координатами.

При цьому кожне зображення сформованого ряду містить однакову вимірювальну інформацію про координати контурних точок та діаметри краплі, оскільки попередньо було забезпечено нерухоме розташування цієї краплі відносно цифрової відеокамери.

Єдиною суттєвою відмінністю зображень є те, що ряд зображень краплі було сформовано та введено в цифрову ЕОМ послідовно в часі. Тому зображення краплі містять різні часові реалізації шуму як випадкового процесу. Математичне сподівання такого випадкового процесу дорівнює нулю, виходячи з властивостей теплового та дробового шуму в перетворювачі "світло-сигнал" та інших електронних схемах цифрової відеокамери [5].

При усередненні значень цифрових відліків яскравості і кольору, що належать зображенням в сформованому ряді та відповідають точкам краплі з однаковими координатами, повністю виключається шум з зображення. Це відбувається завдяки тому, що шум як випадковий процес має нульове математичне сподівання, а усереднення виконується по ряду реалізацій цього випадкового процесу, що містяться на всіх зображеннях сформованого ряду.

При вказаному усередненні також в значній мірі компенсується похибка визначення координат контуру краплі, обумовлена дискретним характером зображень, сформованих цифрової відеокамерою. Це відбувається завдяки тому, що вказана похибка має характер випадкового процесу з нульовим математичним сподіванням через випадкові зміщення контуру, обумовлені впливом наявних шумів [4].

Після усереднення значень цифрових відліків яскравості і кольору, що наявні на кожному з зображень ряду і відповідають точкам з однаковими координатами, отримано одне підсумкове зображення краплі рідини. Підсумкове зображення краплі рідини використовують для визначення екваторіального діаметра краплі та діаметра краплі на відстані від нижнього краю краплі, що дорівнює екваторіальному діаметру, шляхом алгоритмічної обробки цього зображення в цифровій ЕОМ. Оскільки на підсумковому зображенні краплі суттєво зменшено похибки передачі вимірювальної інформації про координати контурних точок краплі, то результати визначення діаметрів краплі рідини та поверхневого натягу цієї рідини мають високу точність.

Таким чином, забезпечується підвищення точності визначення координат контурних точок та діаметрів краплі рідини, і, як наслідок, суттєве підвищення точності визначення поверхневого натягу рідини.

Перелік креслень, що пояснюють суть способу-корисної моделі:

фіг. 1 - структурна схема пристрою, що реалізує спосіб-корисну модель;

фіг. 2 - зображення краплі рідини та її геометричні параметри.

Спосіб-корисну модель виконують у такій послідовності:

1. Попередньо дозуючу систему налаштовують таким чином, щоб забезпечити нерухоме розташування сформованої краплі на нижньому отворі капілярної трубки відносно цифрової відеокамери.

2. Формують за допомогою дозуючої системи нерухому краплю рідини, що звисає з нижнього отвору вертикально розташованої капілярної трубки.

3. Формують ряд зображень краплі рідини за допомогою оптичної системи та цифрової відеокамери.

4. Сформований ряд зображень краплі рідини передають в цифрову ЕОМ.

5. Отримують одне підсумкове зображення краплі рідини в цифровій ЕОМ шляхом усереднення значень цифрових відліків яскравості і кольору, що наявні на кожному з зображень ряду і відповідають точкам з однаковими координатами.

5. Підсумкове зображення краплі рідини використовують для визначення екваторіального діаметра краплі та діаметра краплі на відстані від нижнього краю краплі, що дорівнює екваторіальному діаметру, шляхом алгоритмічної обробки цього зображення в цифровій ЕОМ.

6. Обчислюють на основі визначених діаметрів краплі поверхневий натяг рідини.

5 Для перевірки працездатності способу-корисної моделі було створено пристрій, що реалізує цей спосіб-корисну модель (фіг. 1).

Вказаний пристрій містить: дозуючу систему 1; капілярну трубку 2, що підключена до дозуючої системи 1; краплю 3 рідини, що звисає з нижнього отвору капілярної трубки 2; цифрову відеокамеру 4, вхід якої оптично пов'язаний з краплею 3 рідини; цифрову ЕОМ 5, вхід якої підключено до виходу цифрової відеокамери 4, а на вихід надходять результати вимірювання поверхневого натягу рідини.

10 Пристрій для визначення поверхневого натягу рідини працює таким чином. Попередньо налаштовують дозуючу систему 1 таким чином, щоб забезпечити нерухоме розташування сформованої краплі 3 на нижньому отворі капілярної трубки 2 відносно цифрової відеокамери 4. При цьому підбирається об'єм рідини краплі 3 та швидкість її подачі до капілярної трубки 2 таким чином, щоб забезпечити у підсумку нерухоме розташування сформованої краплі 3 у стані статичної рівноваги на нижньому отворі капілярної трубки 2 відносно цифрової відеокамери 4. В цьому стані дія сили тяжіння на краплю 3 врівноважується силами поверхневого натягу рідини, з якої складається крапля 3.

20 Формують за допомогою дозуючої системи 1 нерухому краплю 3 рідини, що звисає з нижнього отвору вертикально розташованої капілярної трубки 2. Формують ряд зображень краплі 3 рідини за допомогою оптичної системи (на схемі не показана) та цифрової відеокамери 4. Сформований ряд зображень краплі 3 рідини передають в цифрову ЕОМ 5.

В результаті цифрова ЕОМ 5 містить ряд зображень  $B_i(x, y)$  краплі 3 рідини:

25 
$$B_i(x, y) = C_0(x, y) + \xi_i(x, y),$$

де  $x, y$  - просторові координати точок в площині зображення;

$i = 1 \dots N$  - порядковий номер зображення в ряду;

$N$  - кількість сформованих зображень краплі 3 рідини;

30  $C_0(x, y)$  - корисна вимірювальна інформація про геометричні параметри краплі 3 рідини, що наявна на кожному зображенні ряду;

$\xi_i(x, y)$  - похибка, що виникла в процесі формування  $i$ -го зображення

та обумовлена його дискретним характером та шумом в цифровій відеокамері 4.

Після цього отримують одне підсумкове зображення краплі 3 рідини в цифровій ЕОМ 5 шляхом усереднення значень цифрових відліків яскравості і кольору, що наявні на кожному з зображень ряду і відповідають точкам з однаковими координатами.

35 Усереднення виконується згідно формули [4, 6]:

$$\bar{B}(x, y) = \frac{1}{N+1} \sum_{i=0}^N B_i(x, y) = \frac{1}{N+1} \sum_{i=0}^N [C_0(x, y) + \xi_i(x, y)] = C_0(x, y) + M[\xi_i(x, y)]$$

де  $\bar{B}(x, y)$  - підсумкове зображення краплі 3;

40  $M[\xi_i(x, y)]$  - математичне сподівання похибки, наявної на ряді зображенні краплі 3 рідини в точці з координатами  $x$  і  $y$ .

Так, як  $M[\xi_i(x, y)] = 0$ , то

$$\bar{B}(x, y) = C_0(x, y),$$

тобто на підсумковому зображенні краплі 3 рідини повністю залишається вимірювальна інформація про геометричні параметри краплі 3 рідини, а похибка  $\xi_i(x, y)$  виключається.

45 Після цього підсумкове зображення краплі 3 рідини використовують для визначення екваторіального діаметру  $d_e$  краплі 3 та діаметру  $d_s$  краплі 3 на відстані від нижнього краю краплі 3, що дорівнює екваторіальному діаметру  $d_e$ , шляхом алгоритмічної обробки цього зображення в цифровій ЕОМ 5 (фіг. 2).

Обчислюють на основі визначених діаметрів краплі 3 поверхневий натяг рідини.

50 Поверхневий натяг  $\sigma$  визначається за формулою [1,3]:

$$\sigma = \frac{\rho g d_e^2}{H}, \quad (1)$$

де  $\rho$  - густина рідини;

$g$  - прискорення сили тяжіння;

$d^e$  - екваторіальний діаметр краплі 3;

$H$  - коефіцієнт форми краплі 3.

Коефіцієнт форми краплі 3 визначається функціональною залежністю  $H = f(d_s / d_e)$ , яка  
5 може бути обчислена за таблицею, наведеною в [1].

В результаті отримуємо на виході цифрової ЕОМ 5 результат визначення поверхневого  
натягу рідини.

За допомогою пристрою для визначення поверхневого натягу рідини було проведено ряд  
досліджень. В якості рідини використовувалося біодизельне паливо з альтернативної сировини  
10 (рапсова, конопляна та льняна олія). Вимірювання поверхневого натягу біодизельного палива  
необхідно для дослідження його фізико-механічних характеристик та напрацювання  
рекомендацій щодо його практичного використання у двигунах внутрішнього згорання [7].

Дозуюча система 1 налаштовувалася та подавала в скляну капілярну трубку 2 біодизельне  
паливо, яке формувало на нижньому отворі капілярної трубки 2 краплю 3. Як цифрову  
15 відеокамеру 4 використовували цифровий фотоапарат Sony Cyber-Shot DSC-H9 в режимі відео  
зйомки, як цифрову ЕОМ 6 - персональний комп'ютер Core 2 Dual E8200 Asus з тактовою  
частотою 2,2 ГГц, оперативним запам'ятовуючим пристроєм ємністю 2 гігабайт, жорстким  
диском ємністю 320 гігабайт та монітором LG 1953S 19". Розмір зображень дорівнював 1280 ×  
720 точок, глибина кольору 24 біти на 3 канали кольорового зображення. Співвідношення  
20 сигнал/шум дорівнювало 55 дБ.

В результаті вимірювань геометричних розмірів краплі 3 конопляної олії отримано такі  
значення:  $d_e = 2,61$  мм,  $d_s = 2,17$  мм. Тоді  $1/H = 0,51142$  згідно [1]. За формулою (1) значення  
поверхневого натягу для конопляної олії  $\sigma = 31,61 \cdot 10^{-3}$  Н/м.

В результаті проведених досліджень також визначено похибки вимірювань геометричних  
25 параметрів краплі 3 та поверхневого натягу рідини. Максимальна відносна похибка вимірювань  
координат контурних точок краплі 3 становить 0,2 %, діаметра краплі 3-0,4 %, поверхневого  
натягу рідини 0,7 %. Зауважимо, що в [3, стор. 5-6] вказано, що похибка визначення діаметрів  
складає  $\pm 1$  точку зображення, що приводить до відносної похибки визначення поверхневого  
натягу рідини у 1 %.

30 Таким чином, спосіб-корисна модель забезпечує підвищення точності визначення координат  
контурних точок та діаметрів краплі рідини, і, як наслідок, суттєве підвищення точності  
визначення поверхневого натягу рідинну 1,4 рази.

Джерела інформації:

1. Adamson A. W. Physical chemistry of surfaces / A. W. Adamson, A. P. Gast. - 6th ed. - New  
35 York: A Wiley-Interscience Publication, 1997. -784 p.

2. Форсайт Д. Компьютерное зрение. Современный подход / Д. Форсайт, Ж. Понс. - М.:  
Вильямс, 2004. - 928 с.

3. Najmabadi M. Real-time determination of interfacial tension from the shape of a pendant drop  
based on embedded image processing / M. Najmabadi, F. Tamm, M. Klaiber, Y. Baroud, S. Drusch,  
40 S. Simon // ILASS-Europe 2013, 25th European Conference on Liquid Atomization and Spray  
Systems, Chania, Greece, 1-4 September 2013. - 2013. - 6 p.

4. Горелик С. Л. Телевизионные измерительные системы / С. Л. Горелик, Б. М. Кац, В. И.  
Киврин. - М.: Связь, 1980. - 168 с.

5. Ван дер Зил А. Шумы при измерениях / А. Ван дер Зил; под ред. А. К. Нарышкина. - М.:  
45 Мир, 1979. - 292 с.

6. Цифровое кодирование телевизионных изображений / И. И. Цуккерман, Б. М. Кац, Д. С.  
Лебедев и др.; под ред. И. И. Цуккермана. - М.: Радио и связь, 1981. - 240 с.

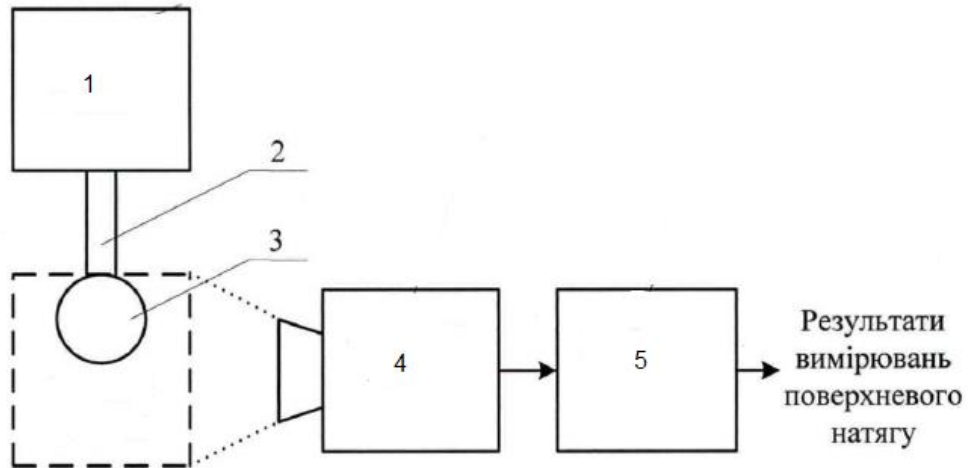
7. Колодницька Р. В. Розпилювання дизельного палива та біопалива у двигунах  
внутрішнього згорання: монографія / Р. В. Колодницька. - Житомир: ЖДТУ, 2017.-212 с.

50

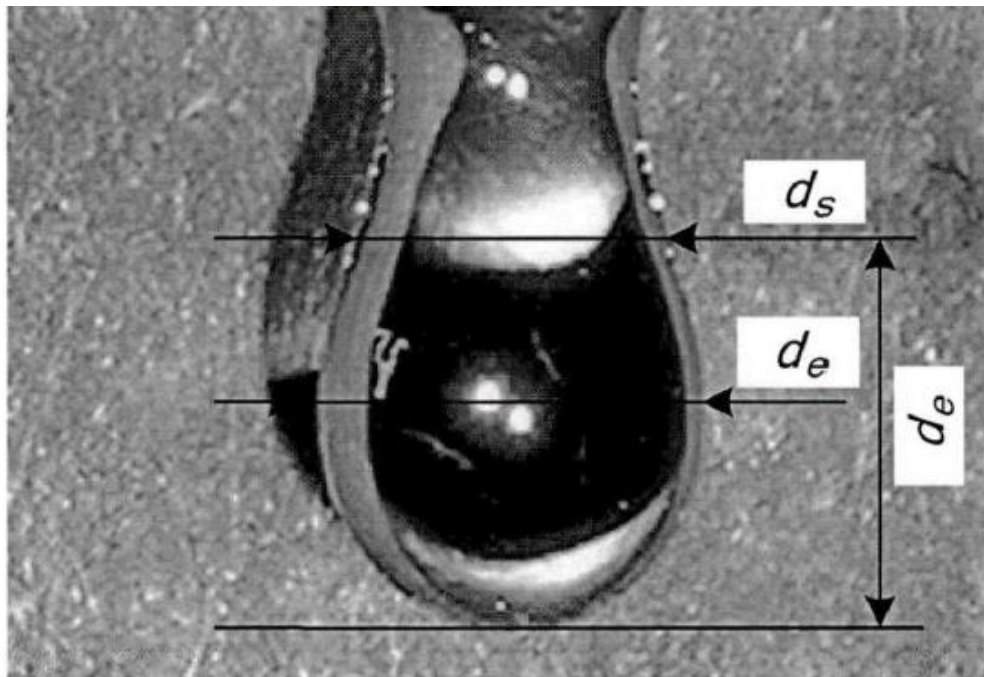
#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб визначення поверхневого натягу рідини, що включає формування за допомогою  
дозуючої системи краплі рідини, що звисає з нижнього отвору вертикально розташованої  
55 капілярної трубки, формування ряду зображень краплі рідини за допомогою оптичної системи  
та цифрової відеокамери, визначення екваторіального діаметра краплі та діаметра краплі на  
відстані від нижнього краю краплі, що дорівнює екваторіальному діаметру, обчислення на  
основі визначених діаметрів краплі поверхневого натягу рідини, який **відрізняється** тим, що  
попередньо дозуючу систему налаштовують таким чином, щоб забезпечити нерухоме

розташування сформованої краплі на нижньому отворі капілярної трубки відносно цифрової відеокамери, після формування ряду зображень краплі рідини цей ряд передають в цифрову електронну обчислювальну машину (ЕОМ) та отримують одне підсумкове зображення краплі рідини шляхом усереднення значень цифрових відліків яскравості і кольору, що наявні на кожному з зображень ряду і відповідають точкам з однаковими координатами, після чого підсумкове зображення краплі рідини використовують для визначення екваторіального діаметра краплі та діаметра краплі на відстані від нижнього краю краплі, що дорівнює екваторіальному діаметру, шляхом алгоритмічної обробки цього зображення в цифровій ЕОМ.



Фіг. 1



Фіг. 2

Комп'ютерна верстка Г. Паяльніков

Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України,  
вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

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