

УДК 004.925

О.Н. РОМАНЮК, М.Д. ОБІДНИК, Д.П. ПРИСЯЖНИЙ

Вінницький національний технічний університет

МЕТОД ІДЕНТИФІКАЦІЇ ВІДБЛИСКУ НА ДІЛЯНЦІ ПОВЕРХНІ,  
ОБМЕЖЕНОЇ ТРИКУТНИКОМ

З метою ідентифікації відблисків на поверхні об'єктів запропоновано метод визначення типу взаємного розташування вектору  $\hat{N}$  і векторів нормалей  $\hat{N}_A, \hat{N}_B, \hat{N}_C$  до відповідних вершин трикутника

The method for determining the type of mutual disposition of vector  $\hat{N}$  and vectors of surface normals  $\hat{N}_A, \hat{N}_B, \hat{N}_C$  to respective vertices of triangle with a view to identify specular color component was proposed.

Ключові слова: ідентифікація відблисків, поверхня об'єкту.

**Вступ**

У сучасних умовах комп'ютерна графіка стрімко розвивається, оскільки забезпечує високий рівень інформативності, відтворює найвагоміші аспекти процесу або явища. Найбільшу реалістичність забезпечує тривимірна графіка, основана на роботі з просторовими моделями об'єктів, що обумовлює її широке використання в багатьох галузях, пов'язаних з комп'ютерним моделюванням та проектуванням. Формування просторових зображень є складним, багатоетапним обчислювальним процесом з використанням складних моделей і методів. При формуванні тривимірних зображень важливо не тільки достовірно відтворити форму об'єкта і його конструктивні особливості, але й правильно передати градації кольорів, що є визначальним при створенні ілюзії об'ємності тривимірного об'єкта на двовимірному екрані.

**Актуальність**

Зафарбовування тріангульованих поверхонь [1, 2] – основний і найбільш трудомісткий етап побудови тривимірного зображення. Під час формування реалістичних зображень здебільшого використовують моделі зафарбовування [1, 3, 4], що враховують фонову, дифузну та спекулярну складові кольору, що може бути надлишковим і позначається на часі формування тривимірних зображень. Це пояснюється тим, що відблиски на поверхні об'єкта складають у середньому близько 10 % від його загальної площі [5], а тому використання складних з обчислювальної точки зору моделей для всього об'єкта недоцільно, оскільки за зонами відблиску використання простих і складних моделей освітлення дає ідентичний результат. Якщо на ділянці поверхні відблиск відсутній, то достатньо використання моделей для відтворення дифузної та фонові складових кольору. При ідентифікації відблиску або його частини в межах трикутника необхідно використовувати моделі освітлення, які враховують спекулярну складову кольору. У зв'язку з цим, для вибору методу зафарбовування, важливо визначити наявність відблиску у межах трикутника, що і обумовлює актуальність даного дослідження.

Метою даного дослідження є підвищення продуктивності ідентифікації відблиску на ділянці поверхні, обмеженої трикутником.

**Аналіз останніх досліджень**

Зафарбовування тривимірних зображень передбачає обчислення фонові, дифузної і спекулярної складових кольору згідно функції тонування [1, 2].

$$I = k_a I_a + k_d I_l (N \cdot L) + k_s I_l (N \cdot H)^n \quad (1)$$

де  $I_a$  – інтенсивність фонові складові світла,  $I_l$  – інтенсивність джерела світла,  $k_a, k_d, k_s$  – коефіцієнти відповідно фонові, дифузної та спекулярної відбиття,  $\hat{L}, \hat{V}$  – нормовані вектори у напрямку, відповідно, до джерела світла та спостерігача (рисунок 1),  $\hat{N}$  – вектор нормалі до поверхні,  $\hat{H} = (\hat{L} + \hat{V}) / |\hat{L} + \hat{V}|$  [2, 6].

Підготовчими для цього є процедури визначення відповідних нормалізованих векторів (рисунок 1), а на їх основі – значень дистрибутивної функції відбивної здатності поверхні (ДФВЗ) [2, 4], що визначає, яку частку випромінювання, що надійшло в задану точку поверхні від джерела світла, буде відбито в напрямку спостерігача. В системах комп'ютерної графіки найчастіше використовують ДФВЗ типу  $\cos^n g$ , де  $n \in [1; 1000]$  – коефіцієнт спекулярності поверхні. Для найпоширеніших у засобах комп'ютерної графіки моделей Фонга та Бліна  $\cos g$  рівні, відповідно,  $\hat{V} \cdot \hat{R}, \hat{N} \cdot \hat{H}$ .

Функція тонування в простих моделях, на відміну від складних, не включає розрахунок для кожної точки поверхні спекулярної складової кольору.

До простих моделей відносять, наприклад, моделі Гуро та Ламберта [2, 3], а також плоского зафарбовування. Прикладом складної моделі може бути модель Фонга [2, 3]. Формули для розрахунку інтенсивності кольору згідно з моделями Ламберта та Фонга ідентичні з тією лиш різницею, що доданок  $I = k_s I_l (N \cdot H)^n$  у формулі (1), який відповідає за формування відблисків на поверхні, для Ламбертової моделі відсутній, тому її обчислювальна складність значно менша.

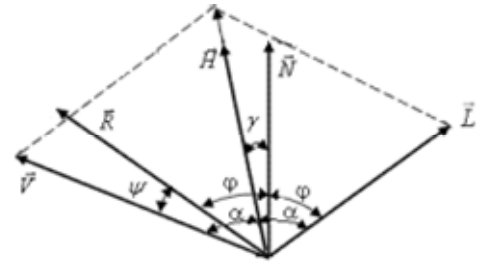


Рис. 1. Вектори нормалей

При ідентифікації відблисків можливі різні спрощення, що позначаються на точності аналізу. При цьому слід урахувувати, що пропуск відблиску або його частини недопустимий, у той час, як його помилкова ідентифікація не критична, хоча й позначиться на часі формування об'єкта.

Розміщення відблиску залежить від взаємного розташування векторів нормалей вершин трикутника  $\vec{N}$  і вектора  $\vec{H}$ , де  $\vec{H}$  – нормаль площини трикутника. При зафарбовуванні ділянки поверхні, обмеженої трикутником, можна виділити три типові випадки розташування векторів, які зображено на рисунку 2 [5]. Перші два з них характерні тим, що  $\vec{H}$  вектор розміщено поза сферичним трикутником, утвореним векторами нормалей  $\vec{N}_A, \vec{N}_B, \vec{N}_C$  до його вершин  $A, B, C$ , суміщених в одну початкову точку.

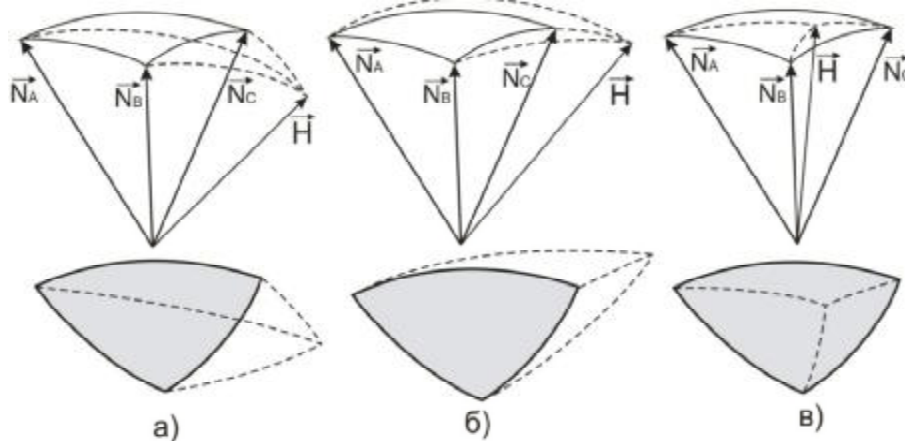


Рис. 2. Типові випадки розташування векторів нормалей

Для визначення типу взаємного розташування векторів нормалей існує декілька методів. Доведено, що частина відблиску знаходиться в межах трикутника якщо, виконується одна із умов [6]:

- а)  $\cos u > 0, \cos J < 0, \vec{N}_1 \cdot \vec{H} \geq q$ ;
- б)  $\cos u < 0, \cos J > 0, \vec{N}_2 \cdot \vec{H} \geq q$ ;
- в)  $\cos u > 0, \cos J > 0, ((\vec{N}_1 \times \vec{N}_2) \times \vec{H}) / (\vec{N}_1 \times \vec{N}_2) \geq q$ ,

де  $\vec{N}_1, \vec{N}_2$  – вектори нормалей до вершин ребра,  $q$  – порогове значення величини косинуса кута між векторами  $\vec{N}$  та  $\vec{H}$ ,

$$\cos u = \frac{(\vec{N}_1 - \vec{N}_2) \cdot (\vec{H} - \vec{N}_2)}{|\vec{N}_1 - \vec{N}_2| |\vec{H} - \vec{N}_2|}, \cos J = \frac{(\vec{N}_2 - \vec{N}_1) \cdot (\vec{H} - \vec{N}_1)}{|\vec{N}_2 - \vec{N}_1| |\vec{H} - \vec{N}_1|}.$$

Недолік методу полягає в тому, що не ідентифікується відблиск, за умови, що він повністю розташований в межах трикутника. Крім того, метод характеризується значними обчислювальними затратами на виконання векторних операцій.

Розроблено метод [4] ідентифікації відблиску, оснований на визначенні значення параметрів змінних  $t_1, t_2, t_3$ , при яких досягається максимальна інтенсивність кольору на ребрах трикутника.

Доведено, що максимальна інтенсивність спекулярної складової кольору на ребрах  $AB, BC, AC$  трикутника  $ABC$  (рисунок 3), досягається при:

$$t_1 = \frac{\cos c \cdot \cos y - \cos a}{(\cos y - 1)(\cos a + \cos c)},$$

$$t_2 = \frac{\cos c \cdot \cos q - \cos D}{(\cos q - 1)(\cos D + \cos c)},$$

$$t_3 = \frac{\cos a \cdot \cos e - \cos D}{(\cos e - 1)(\cos D + \cos a)}.$$

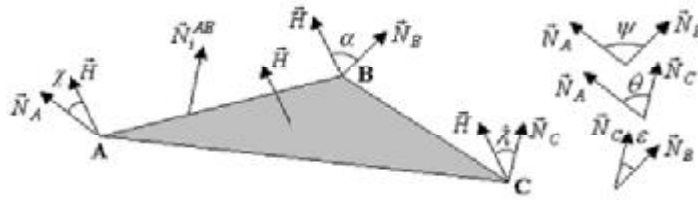


Рис. 3. Вектори нормалей трикутника ABC

Залежно від значення спекулярної складової кольору вибирають метод і модель освітлення.

Недоліком методу є те, що він не ідентифікує випадок повного розміщення відблиску всередині трикутника.

**Постановка задачі**

Розробити метод визначення типу взаємного розташування вектору  $\hat{H}$  і векторів нормалей  $\hat{N}_A, \hat{N}_B, \hat{N}_C$  до відповідних вершин трикутника з метою ідентифікації спекулярної складової кольору.

**Розв'язання задачі**

Кривизну трикутника задають вектори нормалей до вершин трикутника  $\hat{N}_A, \hat{N}_B, \hat{N}_C$ , а взаємне положення джерела світла і спостерігача – вектор  $\hat{H}$ . При обрахунках ці вектори нормалізують. При суміщенні векторів в початок координат, кінцеві точки векторів знаходяться на сфері одиничного радіуса з центром у початку координат. Кінці векторів нормалей вершин трикутника  $\hat{N}_A, \hat{N}_B, \hat{N}_C$  задають на поверхні утвореної сфери сферичний трикутник. Зрозуміло, що кінцеві точки проміжних векторів нормалей розміщуються всередині утвореного сферичного трикутника.

Для розрахунку спекулярної складової інтенсивності кольору за моделлю Фонга використовується формула  $I = I_1 k_s \cos^n g$ . З формули видно, що спекулярна інтенсивність кольору набуває максимального значення, коли вектори  $\hat{N}$  та  $\hat{H}$  колінеарні.

Відблиск може приймати такі положення відносно трикутника:

- поза трикутником без перетину ребер трикутника;
- поза трикутником з перетином ребер трикутника;
- всередині трикутника без перетину ребер трикутника;
- всередині трикутника з перетином ребер трикутника.

Нормалізовані вектори  $\hat{N}_A, \hat{N}_B, \hat{N}_C$  і  $\hat{H}$  задаються координатами декартового простору. Якщо вектор  $\hat{H}$  розміщений між векторами  $\hat{N}_A, \hat{N}_B, \hat{N}_C$ , то проекція кінця цього вектора завжди буде належати проекції самого сферичного трикутника на будь-яку з декартових площин.

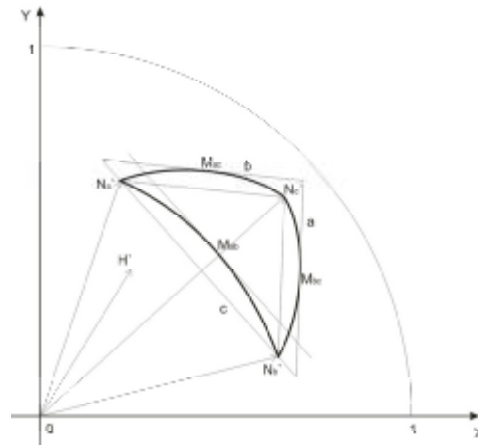


Рис. 4. Проекція сферичного трикутника на декартову площину XOY

Проекцією сферичного трикутника на декартову площину XOY буде фігура, обмежена дугами (рисунок 4). Перетином цих дуг являються проекції кінців векторів нормалей  $N_a, N_b, N_c$  вершин трикутника. Проекція сферичного трикутника обмежується дугами, що значно ускладнює ідентифікацію розміщення вектора  $\hat{H}$ . Для спрощення обчислень будемо проводити аналіз для трикутника  $abc$  (рисунок 4), оскільки недопустимим є пропуск відблиску на трикутнику, проте, помилкова ідентифікація не критична. Трикутник  $abc$  задається прямими  $a, b$  та  $c$ , паралельними відповідно до  $N_b N_c, N_a N_c, N_a N_b$ .

Рівняння прямої  $N_b N_c$  можна отримати, обравши відповідні коефіцієнти  $k$  та  $b$  за координатами  $(x_b, y_b), (x_c, y_c)$ . При підставленні цих координат у відповідні рівняння прямих, отримуємо систему

$$\begin{cases} y_b = k \cdot x_b + b; \\ y_c = k \cdot x_c + b; \end{cases}$$

Розв'язком цієї системи буде

$$k = \frac{y_b - y_c}{x_b - x_c}; b = \frac{x_b y_c - x_c y_b}{x_b - x_c};$$

або

$$b = y_b - k \cdot x_b. \quad (2)$$

Аналогічно розв'язується рівняння прямих  $N_a \cdot N_c$ ,  $N_a \cdot N_b$ .

Щоб знайти рівняння прямої, паралельної до заданої, достатньо однієї точки. Коефіцієнт  $b$  можна визначити за формулою (2), де  $y_b$  і  $x_b$  – координати будь-якої точки прямої, рівняння якої розраховується. Зрозуміло, що коефіцієнт  $k$  у паралельних прямих однаковий.

Вектор  $\vec{N}_{1/2}$ , що розміщено по середині між векторами  $\vec{N}_a$  і  $\vec{N}_b$  та утворює кут між ними кут  $\gamma/2$ , можна обчислити за формулою [7]:

$$\vec{N}_{(1/2)} = \frac{\vec{N}_a + \vec{N}_b}{2 \cos \frac{\gamma}{2}}.$$

Проекцією кінцевої точки вектора  $\vec{N}_{1/2}$  є точка  $M_{ab}$ . Точки  $M_{ac}$ ,  $M_{bc}$  визначаються аналогічно. По отриманим рівнянням прямих  $N_b \cdot N_c$ ,  $N_a \cdot N_c$ ,  $N_a \cdot N_b$  і координатам  $M_{ac}$ ,  $M_{ab}$ ,  $M_{bc}$ , можна визначити належність точки  $H$  трикутнику  $abc$ . Для цього потрібно перевірити 3 умови – розміщення попарно точок  $H$  і  $N_a$ ,  $H$  і  $N_b$ ,  $H$  і  $N_c$  в одних півплощинах, розділених відповідно прямими  $a$ ,  $b$  і  $c$ . Якщо ці умови виконуються, то  $H$  знаходиться всередині трикутника  $abc$ . Якщо, хоча б одна з умов не виконується, то  $H$  знаходиться поза  $abc$ . Це, в свою чергу, свідчить про наявність центра відблиску чи його відсутність його на трикутнику.

Узагальнений алгоритм ідентифікації належності  $H$  трикутнику  $abc$ , відносно однієї зі сторін  $a$ ,  $b$  чи  $c$ , зображено на рисунку 5 у вигляді граф-схеми.

Алгоритм, граф-схема якого зображено на рисунку 5, дозволяє визначити тип взаємного розташування векторів нормалей вершин трикутника  $\vec{N}_A$ ,  $\vec{N}_B$ ,  $\vec{N}_C$  і вектора  $\vec{H}$ . Згідно з алгоритмом проводиться аналіз розміщення проекцій кінцевих точок векторів  $\vec{N}_A$ ,  $\vec{N}_B$ ,  $\vec{N}_C$  і  $\vec{H}$ . Після аналізу всіх ребер, при  $m = 0$ ,  $m = 1$  чи  $m = 2$ , можна стверджувати, що має місце розміщення, яке відповідає випадку, що зображено на рисунку 2, відповідно в), а) чи б).

### Висновки

Відомі методи [1, 5, 6] ідентифікації відблиску не виявляють випадку повного його розміщення на поверхні, обмеженій трикутником.

У статті розроблено метод визначення типу розміщення відблиску відносно ділянки поверхні, який порівняно з відомими визначає всі три типи розміщення векторів нормалей (рисунк 2). Це забезпечує коректне формування кольорів при зафарбовуванні тривимірних об'єктів.

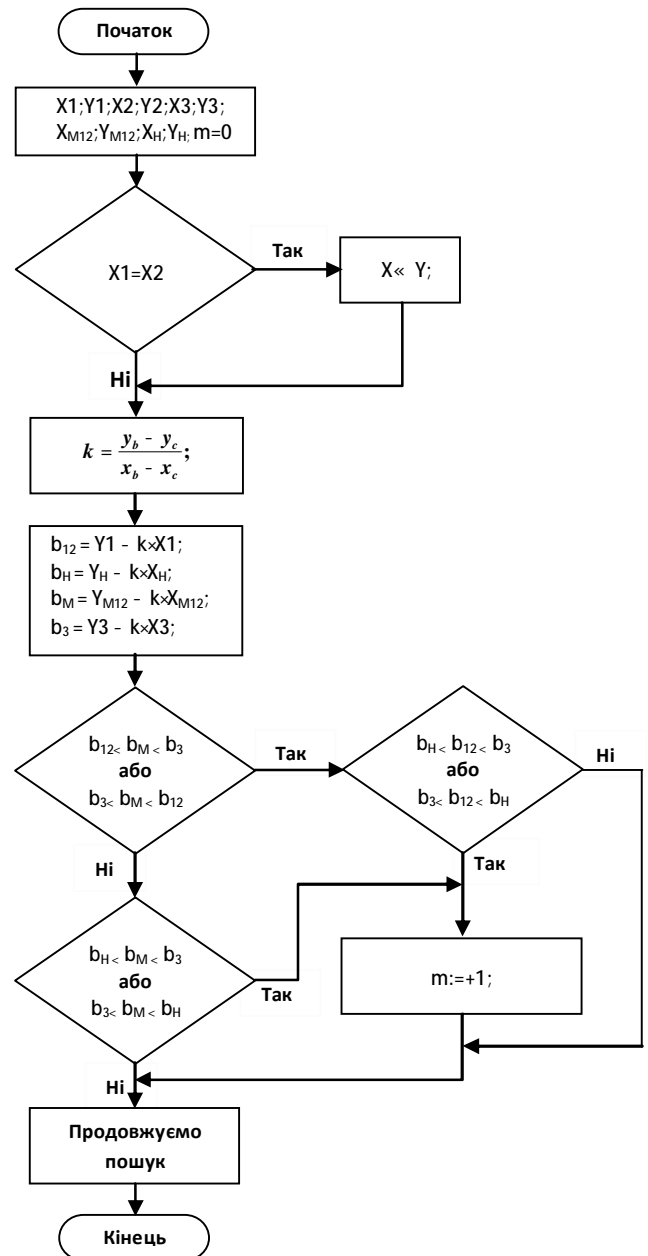


Рис. 5. Граф-схема алгоритму ідентифікації  $H$  відносно одного з ребер трикутника  $abc$

## Література

1. Романюк О. Н. Високопродуктивні методи та засоби зафарбовування тривимірних графічних об'єктів. Монографія. / О. Н. Романюк, А. В. Чорний. – Вінниця: УНІВЕСУМ-Вінниця, 2006. – 190 с.
2. Херн Д., Бейкер М. Компьютерная графика и стандарт OpenGL / Д. Херн, М. Бейкер. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2005. – 1168 с.
3. Романюк О. Н. Адаптивне використання різних методів зафарбовування при формуванні тривимірних графічних фігур / О. Н. Романюк // Нові технології. – 2005. – № 3 (9). – С. 78– 86.
4. Романюк О. Н. Класифікація дистрибутивних функцій відбивної здатності поверхні / О. Н. Романюк // Наукові праці Донецького національного технічного університету. – Серія «Інформатика, кібернетика і обчислювальна техніка». – 2008. – Випуск 9 (132). – С. 145– 151.
5. Романюк О. Н. Метод прискореного зафарбовування тривимірних поверхонь з урахуванням їх локальної кривизни / О. Н. Романюк // Вісник Східноукраїнського національного університету. – 2008. – № 12 (130). – С. 166– 172.
6. Романюк О. Н. Адаптивний метод зафарбовування поверхонь / О. Н. Романюк, А. В. Чорний, А. В. Пугачова // Сборник научных трудов Национального горного университета. – 2004. – № 19, том 2. – С. 208– 218.
7. Романюк О. Н. Адаптивна нормалізація векторів нормалей при визначенні дифузної та спекулярної складових кольору / О. Н. Романюк, О. М. Мельников // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2006. – Т. 8. – № 3. – С. 11– 19.

УДК 681.32

Ю.В. ДЕМЕНТЬЄВ, С.Ю. ДЕМЕНТЬЄВ

Вінницький національний технічний університет

### МІКРОПРОЦЕСОРНИЙ ПРИСТРІЙ КОНТРОЛЮ КІЛЬКОСТІ ТА ВИТРАТИ КИСНЮ

Стаття присвячена розробці мікропроцесорного пристрою контролю кількості та витрати газоподібного кисню з використанням ультразвукового первинного вимірювального перетворювача кількості з імпульсним вихідним сигналом. Запропоновано математичну модель обчислення коефіцієнту стисливості кисню. Сформульовано основні функції мікропроцесорного обчислювача для вузлів його комерційного обліку.

**The device is designed for oxygen consumption control using an ultrasound transducer that measuring initial number of pulse signal. A mathematical model for oxygen compressibility coefficient was proposed. Formulated the basic functions of microprocessor-based calculator for commercial oxygen registration.**

Ключові слова: визначення кількості кисню, мікропроцесорний пристрій, коефіцієнт стисливості кисню, вузол обліку.

#### Вступ

На промислових підприємствах, лікувальних закладах використовується кисень, облік якого потрібно виконувати при стандартних умовах. Абсолютний тиск газоподібного кисню  $P$  при його обліку, як правило, не виходить за межі від 0.15 до 7 МПа, а абсолютна температура  $T$  за межі від 243 до 383 °К.

Взаєморозрахунки між постачальником та замовником кисню проводяться після приведення газу до стандартних умов, якими є тиск  $P_c = 101.0325$  кПа та температура  $T_c = 293.15$ . В якості первинного вимірювального перетворювача (ПВП) витрати чи об'єму кисню необхідно використовувати перетворювачі в яких відсутній прямий контакт кисню з мастилами, наприклад, ПВП з використанням звужуючих пристроїв чи ультразвукові ПВП, наприклад "Курс-1". Останні дозволяють контролювати витрату кисню в динамічному діапазоні від 1 до 250, наприклад, лічильник "Курс-1" G16 з номінальним діаметром прохідного отвору 40 мм має значення максимальної витрати 25 м<sup>3</sup>/год. при мінімальній витраті 0.1 м<sup>3</sup>/год. та має основну відносну похибку один відсоток. Вихідним сигналом первинного перетворювача є імпульси, кількість яких пропорційна об'єму спожитого кисню при робочих умовах, а період між імпульсами пропорційний витраті кисню.

#### Основна частина

Для обчислення значення витрати та кількості газу з використанням ультразвукового ПВП об'єму газу та мікропроцесорного обчислювача, останній отримує інформацію про об'єм енергоносія у вигляді послідовності з  $N$  імпульсів, тоді об'єм енергоносія  $q_p$  при робочих умовах в будь-який момент часу визначається обчислювачем по співвідношенню