

Винахід відноситься до області теплотехніки, зокрема до пристроїв визначення спожитої теплової енергії на опалення локальних споживачів і призначений для використання в комунальному господарстві, в багатокімнатних приміщеннях багатоповерхових будівель, в яких може знаходитись значна кількість локальних споживачів (юридичних і фізичних осіб) і використаний колективний принцип підводу теплової енергії, при якому до локального споживача, що займає декілька кімнат, тепла енергія підводиться від декількох окремих ввідів, оскільки в умовах перманентного росту світових цін на енергоносії, особливої актуальності набуває проблема точного обліку спожитої теплової енергії індивідуальними споживачами.

Відомий пристрій обліку спожитої теплової енергії на опалення, який містить  $n$  нагрівачів,  $2n$  електронних перетворювачів температури,  $m$  концентраторів, обчислювальний пристрій, теплолічильник, при цьому перетворювачі температури встановлюються по два на кожен нагрівач - один розташовується в точці середньої його температури; а другий - на певній відстані від нього, електронні перетворювачі температури об'єднуються у вимірювальну систему за радіально-магістральним принципом, за яким до кожного з концентраторів під'єднується деяка кількість перетворювачів температури, а концентратори через магістраль сполучені із входами обчислювального пристрою, вихід якого під'єднаний до теплолічильника, а кількість відданого опалювальним пристроєм тепла уточнюється на підставі показів теплолічильника [Дубовой В.М., Кабачій В.В. ІВС - теплопостачання житлових будинків // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах, 1998, №2. - Сс. 160-163.]

Однак, точність визначення спожитої теплової енергії цим пристроєм є малою за рахунок розкиду індивідуальних параметрів сенсорів температури, оскільки в ньому з допомогою окремих електронних перетворювачів вимірюються різні, але близькі ( $2...10^{\circ}\text{C}$ ) значення температури, а потім знаходиться їх різниця для підрахунку спожитої теплової енергії. При великій кількості нагрівачів в будівлі суттєво зростає складність системи обліку через велику кількість концентраторів та велику довжину ліній зв'язку. Крім того, використання спеціальних імпульсних перетворювачів температури фірми Analog Device [Reference Design-in Manual // Analog Device inc. - 1994. - 2000 pp.], вихідним сигналом яких є відношення тривалості імпульсів до тривалості пауз, або перетворювачів з цифровими виходами фірми Dallas [System Extention Data Book // Dallas Semiconductor. - 1996. - 2600 pp.], які на основі інтерфейсу CAN можна об'єднати в локальну мережу MicroLine, значно збільшує вартість пристрою обліку спожитої теплової енергії на опалення для вітчизняних споживачів.

Відомий також пристрій обліку спожитої теплової енергії на опалення, який містить напівпровідникові діодні термоперетворювачі, включені попарно зустрічно-паралельно та під'єднані до струмопровідних шин, рядки та стовпці якої підключені до входів першого та другого кодо-керованих комутаторів, обчислювальний блок, блок відображення інформації, аналого-цифровий перетворювач напруга-код, кодовий вихід якого сполучений з одним із входів-виходів обчислювального блоку, другий та третій виходи якої під'єднані до входів керування обох кодо-керованих комутаторів, а четвертий вихід - до блоку відображення інформації [Патент України 23280А, G01K7/00, 31.08.98, Бюл. №4]. При цьому замикання певних ключів комутаторів вмикається певний діодний перетворювач температури, розташований в заданій точці температурного поля і підключений до одного із вузлів матриці, утвореної струмопровідними шинами. З допомогою перемикача напругу струму у цьому вузлі вмикається інший діод, включений в протилежній полярності до попереднього. Температура визначається в обчислювальному блоці, шляхом опрацювання за певним алгоритмом спадку напруги на включеному діоді, опорів ліній зв'язку, замкнених ключах комутаторів та перемикачах напругу струму.

Однак, у цьому пристрої похибка підрахунку кількості спожитого тепла буде великою за рахунок великої похибки вимірювання різниці температур, оскільки на результат її вимірювання впливатиме розрядність використаного АЦП, так як типові значення перепаду температур між нагрівачами в сусідніх помешканнях складає одиниці  $^{\circ}\text{C}$  - ( $2...5^{\circ}\text{C}$ ) -, то при похибці теплолічильника  $\pm 1\%$  вказану різницю температур слід вимірювати з дискретністю в ( $3...5$ ) разів меншою, тобто  $1\%/(3...5) = (0,2...0,3)\%$ , що в одиницях температури складає ( $0,004...0,015$ )  $^{\circ}\text{C}$ , а при чутливості діодів із модуляцією струмів порядку 200  $\text{мВ}/^{\circ}\text{C}$  в одиницях напруги це складе ( $0,8...3$ )  $\text{мВ}$  (ця величина співмірна із порогом чутливості АЦП). Враховуючи, що спад напруги на прямо зміщеному кремнієвому переході складає ( $0,5...0,7$ ) В, то у цьому випадку потрібен АЦП з розрядністю  $\lg[(0,5...0,7)\text{В}/(0,8...3)\text{мВ}] = (5...6)$  десяткових розрядів або ( $17...20$ ) двійкових розрядів. При цьому різниця температур в сусідніх помешканнях визначатиметься як різниця двох близьких за значеннями багато розрядних чисел, інформативними в яких будуть тільки молодші розряди, відомі з великою відносною похибкою (десятки процентів). Тобто похибка вимірювання різниці температур буде великою, а отже великою буде і похибка підрахунку кількості спожитого тепла. Крім того, вимірювання спадків напруг на діодах пропонується проводити при значеннях струмів порядку одиниць-сотень наноампер. При цих струмах статичний опір діода становитиме ( $0,5...0,7$ ) В/( $10...100$ ) нА = ( $5...70$ ) МОм і на результати вимірювання суттєво впливатимуть опори ізоляції перетворювачів температури, ліній зв'язку та опорів розімкнених ключів комутаторів. До того ж, при такому великому внутрішньому опорі на діоди суттєво впливатимуть зовнішні електромагнітні завади.

Задачею винаходу є створення пристрою для обліку спожитої теплової енергії на опалення з підвищеною точністю вимірювання кількості спожитого тепла, яка базується на використанні дешевих перетворювачів температури із взаємозамінними характеристиками при забезпеченні мінімальної кількості дротів з'єднувальних ліній та мінімальної їх довжини.

Ця задача вирішується тим, що пристрій обліку спожитої теплової енергії на опалення, який містить напівпровідникові діодні термоперетворювачі, включені попарно зустрічно-паралельно та під'єднані до струмопровідних шин, рядки та стовпці яких підключені до входів першого та другого кодо-керованих комутаторів, обчислювальний блок, блок відображення інформації, аналого-цифровий перетворювач напруга-код, кодовий вихід якого сполучений з одним із входів-виходів обчислювального блоку, другий та третій виходи якого під'єднані до входів керування обох кодо-керованих комутаторів, а четвертий вихід - до блоку відображення інформації, згідно з винаходом, в нього введений цифро-аналоговий перетворювач код-напруга, два перетворювачі напруга-струм, витратомір енергоносія, диференціальний підсилювач та третій і четвертий кодо-керовані комутатори, входи яких сполучені із стовпцями та рядками струмопровідних шин, вихід другого комутатора з'єднаний з виходом першого перетворювача напруга-струм та із першим входом диференціального підсилювача, вихід третього комутатора з'єднаний з виходом другого перетворювача напруга-струм та з другим входом диференціального підсилювача, вихід якого сполучений із входом аналого-цифрового перетворювача, перший вихід цифро-аналогового перетворювача під'єднаний до перших входів обох перетворювачів напруга-струм,

другий - до їх других входів та спільної шини пристрою, а вхід керування - до п'ятого виходу обчислювального блоку, виходи першого та четвертого комутатора під'єднані до спільної шини пристрою, входи керування третього і четвертого комутаторів сполучені відповідно з шостим та сьомим виходом обчислювального блоку, до восьмого входу-виходу якого під'єднаний вихід витратоміра енергоносія.

Вказане включення додаткових елементів і блоків пристрою обліку спожитої теплової енергії на опалення забезпечує мінімальну довжину ліній зв'язку перетворювачів температури із входом пристрою, яка являє собою матрицю провідників, у вузлах якої включені дешеві напівпровідникові перетворювачі температури дозволяє вимірювати різницю температур між сусідніми помешканнями, яка є прямо пропорційна до спожитого тепла. Завдяки цьому підвищується точність вимірювання кількості спожитого індивідуальними споживачами тепла, а опрацювання результатів перетворень згідно із запропонованим алгоритмом забезпечить взаємозамінність діодних перетворювачів температури;

На фігурі 1 подана структурна схема пристрою обліку спожитої теплової енергії на опалення, а на фігурі 2 - блок-схема алгоритму роботи пристрою обліку спожитої теплової енергії на опалення.

Пристрій містить струмопровідні шини стовпців 1.1, 1.2, ..., 1.m та рядків 2.1, 2.2, ..., 2.n, об'єднані в матрицю 3 діодними перетворювачами температури, яка складається із зустрічно паралельно включених діодів причому горизонтальні групи діодів 4.11, 4.12, ..., 4.1m; 4.21, 4.22, ..., 4.2m; ...; 4.n1, 4.n2, ..., 4.nm під'єднані прямо між стовпцями 1.1, 1.2, ..., 1.m та рядками 2.1, 2.2, ..., 2.n струмопровідних шин, а горизонтальні групи діодів 5.11, 5.12, ..., 5.1m; 5.21, 5.22, ..., 5.2m; ...; 5.n1, 5.n2, ..., 5.nm під'єднані зустрічно між стовпцями 1.1, 1.2, ..., 1.m та рядками 2.1, 2.2, ..., 2.n струмопровідних шин матриці 3, цифро-аналоговий перетворювач код-напруга 6, перший 7 та другий 8 перетворювачі напруга-струм, другий 9 та третій 10 кодо-керовані комутатори стовпців, перший 11 та четвертий 12 кодо-керовані комутатори рядків, диференційний підсилювач 13, аналого-цифровий перетворювач напруга-код 14, обчислювальний блок 15, блок відображення інформації 16, витратомір енергоносія 17.

Кодовий вхід цифро-аналогового перетворювача напруга-код 6 підключений до першого виходу обчислювального блоку 15, його перший аналоговий вихід під'єднаний до перших входів перетворювачів напруга-струм 7 і 8, а його другий аналоговий вихід - до других входів перетворювачів напруга-струм 7 і 8 та спільної шини пристрою. Вихід перетворювача напруга-струм 7, підключений до виходу кодо-керованого комутатора 9 та першого входу диференційного підсилювача 13, входи якого також з'єднані із стовпцями 1.1, 1.2, ..., 1.m струмопровідних шин матриці 3, вихід перетворювача напруга-струм 8 підключений до виходу кодо-керованого комутатора 10, входи якого також з'єднані із стовпцями 1.1, 1.2, ..., 1.m струмопровідних шин матриці 3. Входи кодо-керованих комутаторів 11 та 12 підключені до рядків 2.1, 2.2, ..., 2.n струмопровідних шин матриці 3, а виходи - до спільної шини пристрою. Вихід диференційного підсилювача 13 сполучений із входом аналого-цифрового перетворювача 14, виходи-входи якого під'єднані до другого входу-виходу обчислювального блоку 15. Входи керування кодо-керованих комутаторів 9, 10, 11, 12 підключені відповідно до третього, четвертого, п'ятого і шостого виходів обчислювального блоку 15, сьомий вихід якого сполучений із входом блоку відображення інформації 16, а восьмий вхід-вихід - із виходом витратоміра енергоносія 17.

Обчислювальний блок 15 може бути виконаний на основі мікро-ЕОМ.

Робота пристрою для обліку спожитої теплової енергії (фіг. 1) відбувається в режимі програмного обміну даними між цифровими та аналого-цифровими блоками відповідно до алгоритму опиту діодних перетворювачів температури і виконання додаткових вимірювань в кожній контрольованій точці температурного поля (фіг. 2).

За командою мікро-ЕОМ кодом  $N_1^+ = N_{\max} / 2 + N_1$ , внесеним в її пам'ять в цифро аналоговому перетворювачі

6 код-напруга формується вихідна напруга  $U_1^+ = E_0 \frac{N_1}{N_{\max}}$  де  $N_1$  - поточне значення коду;  $N_{\max}$  - максимально

можливе значення коду для даного типу перетворювача код-напруга;  $E_0$  - значення опорної напруги цифро-аналогового перетворювача 6 код-напруга. Ця напруга  $U_1^+$  з допомогою перетворювачів напруга-струм 7 і 8

перетворюється в струм  $I_1^+ = U_1^+ / R_N$ , де  $R_N$  - масштабний коефіцієнт перетворення блоків 7 і 8. При вимірюванні

різниці температур в певній точці рядка  $j$  обчислювальний блок 15 подає коди на кодо-керовані комутатори відповідно  $N_i$  на комутатор 9,  $N_{i+1}$  на комутатор 10,  $N_j$  на обидва комутатори 11 і 12. При вимірюванні різниці

температур в певній точці стовпця  $i$  мікро-ЕОМ подає код  $N_i$  на обидва комутатори 9 і 10, код  $N_j$  на комутатор 11 і код  $N_{j+1}$  на комутатор 12. Наприклад, при вимірюванні різниці температур діодів 4.11 та 4.12 вмикається

перший ключ комутатора 9, другий ключ комутатора 10 та перші ключі комутаторів 11 і 12. При вимірюванні різниці температур діодів, наприклад 4.11 та 4.21 вмикаються перші ключі комутаторів 9 і 10, перший ключ комутатора 11 і другий ключ комутатора 12. На фіг. 1 для наглядності кількість стовпців та рядків обмежена та рівна трьом. В результаті для першого прикладу струм  $I_1^+$  буде протікати через діоди 4.11 та 4.12, а в другому - через діоди 4.11 та 4.21.

За командою мікро-ЕОМ кодом  $N_1^- = N_{\max} / 2 - N_1$ , внесеним в її пам'ять, в цифро-аналоговому перетворювачі 6 код-напруга формується вихідна напруга  $U_1^- = -E_0 N_1 / N_{\max}$ , яка з допомогою перетворювачів напруга-струм 7 і 8 перетворюється в струм  $I_1^- = U_1^- / R_N$ , рівний за значенням і проти полярний струму  $I_1^+$ . Реалізація двополярного цифро-аналогового перетворювача описана в [Гутников В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах, - с.233-235], а гальванічно розділених перетворювачів напруга-струм в [Тут же, - с.58-59 (рис.1.27.6)].

При протіканні струму  $I_1^-$  відкриватимуться зустрічно включені діоди 5.11, 5.12, ..., 5.1m; ...; 5.n1, 5.n2, ..., 5.nm, а діоди 4.11, 4.12, ..., 4.1m; ...; 4.n1, 4.n2, ..., 4.nm будуть відповідно закриті. Для першого прикладу струм  $I_1^-$  протікатиме через діоди 5.11 та 5.12, а для другого - через діоди 5.11 та 5.21.

Прямую вітку вольт-амперної характеристики діодів для термометричного використання можна подати рівнянням [Засименко В.М., Яцук В.О. Якісна оцінка метрологічних характеристик температурних каналів індивідуальних теплолічильників // Вісник НУ "Львівська політехніка", "Автоматика, вимірювання, керування", №445, 2002. - сс. 155-160]

$$U_g = R_B I + \varphi_T \cdot \ln \frac{I}{I_{SO}} - E_g \frac{T - T_0}{T_0}, \quad (1)$$

де  $U_g$  - напруги на прямо зміщеному діоді при струмі  $I$ ;

$T$  - абсолютна температура р-п переходу;

$I_{SO}$  - значення теплового струму р-п переходу при кімнатній температурі  $T = T_0$ ;

$R_B$  - опір бази та виводів р-п переходу;

$\varphi_T = \frac{kT}{q}$  - температурний потенціал;

$k$ ,  $q$  - стала Больцмана та заряд електрона;

$E_g$  - ширина забороненої зони напівпровідника.

При струмі  $I_1^+$  на перший вхід диференціального підсилювача 13 при вимірюванні різниць температур в рядках подаватиметься напруга  $U_{p1}$

$$U_{p1} = R_{2Ci} I_1^+ + \frac{kT_{2i}}{q} \ln \frac{I_1^+}{I_{2SOi+1}} - E_g \frac{T_{2i} T_0}{T_0} + \Delta_{2Ci} \quad (2)$$

на другий вхід - напруга  $U_{p2}$

$$U_{p2} = R_{2Ci+1} I_1^+ + \frac{kT_{2i+1}}{q} \ln \frac{I_1^+}{I_{2SOi+1}} - E_g \frac{T_{2i+1} - T_0}{T_0} + \Delta_{2Ci+1}, \quad (3)$$

а вихідна напруга  $U_{1дп}^+$  диференціального підсилювача 13 дорівнюватиме

$$U_{1дп}^+ = \kappa_{дп} (U_{p1} - U_{p2}) =$$

$$= \left\{ I_1^+ (R_{2Ci} - R_{2Ci+1}) + \frac{k}{q} \left[ T_{2i} \ln \frac{I_1^+}{I_{2SOi}} - T_{2i+1} \ln \frac{I_1^+}{I_{2SOi+1}} \right] - E_g \frac{(T_{2i} - T_{2i+1})}{T_0} \right\} \kappa_{дп} + (\Delta_{2Ci} - \Delta_{2Ci+1}) \quad (4)$$

де  $R_{2Ci}$  - сумарний опір струмових дротів, опорів замкнених ключів комутаторів 9 та 11 і опорів бази та виводів р-п переходу діода з номером 4.ij;

$R_{2Ci+1}$  - сумарний опір струмових дротів, опорів замкнених ключів комутаторів 10 та 12 і опорів бази та виводів р-п переходу діода з номером 4.(i+1)j;

$T_{2i}$ ,  $T_{2i+1}$  - абсолютні температури р-п переходів діодів відповідно з номерами 4.ij та 4.i(i+1)j;

$I_{2SOi}$ ,  $I_{2SOi+1}$  - значення теплових струмів при кімнатній температурі  $T = T_0$  р-п переходів з номерами відповідно 4.ij та 4.(i+1)j;

$\Delta_{2Ci}$ ,  $\Delta_{2Ci+1}$  - контактні е.р.с. в колі діодів 4.ij та 4.(i+1)j.

При струмі  $I_1^-$ , включатимуться діоди з номерами 5.ij та 5.(i+1)j і вихідна напруга  $U_{1дп}^-$  диференціального підсилювача 13 дорівнюватиме

$$U_{1дп}^- = \kappa_{дп} \left\{ I_1^- (R_{3Ci} - R_{3Ci+1}) + \frac{k}{q} \left[ T_{3i} \ln \frac{I_1^-}{I_{3SOi}} - T_{3i+1} \ln \frac{I_1^-}{I_{3SOi+1}} \right] - E_g \frac{(T_{3i} - T_{3i+1})}{T_0} - (\Delta_{3Ci} - \Delta_{3Ci+1}) \right\}, \quad (5)$$

де  $R_{3Ci}$  та  $R_{3Ci+1}$  - сумарний опір відповідно струмових дрітків, опорів замкнених ключів комутаторів 9 та 11 або 10 та 12 опорів бази та виводів р-п переходів діодів 5.ij або 5.(i+1)j;

$T_{3Ci}$ ,  $T_{3Ci+1}$  - абсолютні температури р-п переходів діодів відповідно з номерами 5.iJ та 5.(i+1)j;

$I_{3S0i}$ ,  $I_{3S0i+1}$  - значення теплових струмів при кімнатній температурі  $T = T_0$  р-п переходів з номерами відповідно 5.ij та 5.(i+1)j;

$\Delta_{3Ci}$ ,  $\Delta_{3Ci+1}$  - контактні е.р.с. в колі діодів 5.ij та 5.(i+1)j.

У випадку вимірювання різниць температур у стовпцях при струмі  $I_1^+$ , на виході диференціального підсилювача 13 отримують вихідну напругу  $U_{12дп}^+$

$$U_{12дп}^+ = K_{дп} \left\{ I_1^+ (R_{2Ci} - R_{2Cj+1}) + \frac{k}{q} \left[ T_{2i} \ln \frac{I_1^+}{I_{2S0j}} - T_{2j+1} \ln \frac{I_1^+}{I_{2S0j+1}} \right] - E_g \frac{(T_{2i} - T_{2j+1})}{T_0} + (\Delta_{2Ci} - \Delta_{2Cj+1}) \right\}, \quad (6)$$

а при струмі  $I_1^-$  - вихідну напругу  $U_{12дп}^-$

$$U_{12дп}^- = -K_{дп} \left\{ I_1^- (R_{3Ci} - R_{3Cj+1}) + \frac{k}{q} \left[ T_{3i} \ln \frac{I_1^-}{I_{3S0j}} - T_{3j+1} \ln \frac{I_1^-}{I_{3S0j+1}} \right] - E_g \frac{(T_{3i} - T_{3j+1})}{T_0} + (\Delta_{3Ci} - \Delta_{3Cj+1}) \right\}, \quad (7)$$

де  $T_{2i}$ ,  $T_{2j+1}$ ,  $T_{3i}$ ,  $T_{3j+1}$  - абсолютні температури р-п переходів діодів відповідно з номерами 4.ij та 4.i(j+1) і 5.ij та 5.i(j+1);

$R_{2Ci}$  та  $R_{2Cj+1}$ ,  $R_{3Ci}$  та  $R_{3Cj+1}$  - сумарний опір відповідно струмових дрітків, опорів замкнених ключів комутаторів 9 та 11 або 10 та 12 опорів бази та виводів р-п переходів діодів 4.ij та 4.i(j+1) і 5.ij та 5.i(j+1);

$\Delta_{2Ci}$ ,  $\Delta_{2Cj+1}$ ,  $\Delta_{3Ci}$ ,  $\Delta_{3Cj+1}$  - контактні е.р.с. в колі діодів 4.ij та 4.i(j+1) і 5.ij та 5.i(j+1).

На виході АЦП 14 при напругах на його вході  $U_{11дп}^+$ ,  $U_{11дп}^-$ ,  $U_{12дп}^+$ ,  $U_{12дп}^-$  отримують коди  $N_{11дп}^+$ ,  $N_{11дп}^-$ ,  $N_{12дп}^+$ ,  $N_{12дп}^-$

$$N_{11дп}^+ = K_{АЦП} U_{11дп}^+, \quad (8)$$

$$N_{11дп}^- = K_{АЦП} U_{11дп}^-, \quad (9)$$

$$N_{12дп}^+ = K_{АЦП} U_{12дп}^+, \quad (10)$$

$$N_{12дп}^- = K_{АЦП} U_{12дп}^-, \quad (11)$$

де  $K_{АЦП}$  - коефіцієнт перетворення АЦП 14.

Коди  $N_{11дп}^+$ ,  $N_{11дп}^-$ ,  $N_{12дп}^+$ ,  $N_{12дп}^-$  вводяться в пам'ять мікро-ЕОМ 15 та зберігаються там.

Потім в залежності від того, між якими групами діодів 4.ij та 4.(i+1)j і 4.ij та 4.i(j+1) або 5.ij та 5.(i+1)j і 5.ij та 5.i(j+1), мікро-ЕОМ 15 з блоку своєї пам'яті подає код  $N_2^+ = N_{\max} / 2 + N_2$ , або  $N_2^- = N_{\max} / 2 - N_2$  до цифро-аналогового перетворювача 6, на виході якого формуються відповідні напруги, які перетворюються в струми  $I_2^+$ ,  $I_2^-$

$$I_2^+ = E_0 N_2 / R_N N_{\max}, \quad (12)$$

$$I_2^- = -E_0 N_2 / R_N N_{\max}, \quad (13)$$

Комутатори 9 та 10 і 11 та 12 знаходяться в тому ж положенні, що й при струмах  $I_2^+$ ,  $I_2^-$ . На виході АЦП 14 отримують коди  $N_{21}^+$ ,  $N_{21}^-$ ,  $N_{22}^+$ ,  $N_{22}^-$ , які пропорційні різницям спадків напруг між такими парами діодів 4.ij та 4.(i+1)j, 5.ij та 5.(i+1)j, 4.ij та 4.i(j+1), 5.ij та 5.i(j+1)

$$N_{21}^+ = K_{\text{АЦП}} K_{\text{ДП}} \left\{ \begin{aligned} &I_2^+ (R_{2Ci} - R_{2Ci+1}) + \\ &+ \frac{k}{q} \left[ T_{2i} \ln \frac{I_2^+}{I_{2S0i}} - T_{2i+1} \ln \frac{I_2^+}{I_{2S0i+1}} \right] - \\ &- E_g \frac{(T_{2i} - T_{2i+1})}{T_0} + (\Delta_{2Ci} - \Delta_{2Ci+1}) \end{aligned} \right\}, \quad (14)$$

$$N_{21}^- = K_{\text{АЦП}} K_{\text{ДП}} \left\{ \begin{aligned} &I_2^- (R_{3Ci} - R_{3Ci+1}) + \\ &+ \frac{k}{q} \left[ T_{3i} \ln \frac{I_2^-}{I_{3S0i}} - T_{3i+1} \ln \frac{I_2^-}{I_{3S0i+1}} \right] - \\ &- E_g \frac{(T_{3i} - T_{3i+1})}{T_0} + (\Delta_{3Ci} - \Delta_{3Ci+1}) \end{aligned} \right\}, \quad (15)$$

$$N_{22}^+ = K_{\text{АЦП}} K_{\text{ДП}} \left\{ \begin{aligned} &I_2^+ (R_{2Cj} - R_{2Cj+1}) + \\ &+ \frac{k}{q} \left[ T_{2j} \ln \frac{I_2^+}{I_{2S0j}} - T_{2j+1} \ln \frac{I_2^+}{I_{2S0j+1}} \right] - \\ &- E_g \frac{(T_{2j} - T_{2j+1})}{T_0} + (\Delta_{2Cj} - \Delta_{2Cj+1}) \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

$$N_{22}^- = K_{\text{АЦП}} K_{\text{ДП}} \left\{ \begin{aligned} &I_2^- (R_{3Cj} - R_{3Cj+1}) + \\ &+ \frac{k}{q} \left[ T_{3j} \ln \frac{I_2^-}{I_{3S0j}} - T_{3j+1} \ln \frac{I_2^-}{I_{3S0j+1}} \right] - \\ &- E_g \frac{(T_{3j} - T_{3j+1})}{T_0} + (\Delta_{3Cj} - \Delta_{3Cj+1}) \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

Коди  $N_{21}^+$ ,  $N_{21}^-$ ,  $N_{22}^+$ ,  $N_{22}^-$  уводяться в пам'ять мікро-ЕОМ та зберігаються там. Потім в залежності від того, між якими групами діодів 4.ij та 4.(i+1)j, 4.ij і 4.i(j+1) або 5.ij та 5.(i+1)j і 5.ij та 5.i(j+1), мікро-ЕОМ 15 з блоку своєї пам'яті подає код  $N_3^+ = N_{\text{max}} / 2 + N_3$ , або  $N_3^- = N_{\text{max}} / 2 - N_3$  до цифро-аналогового перетворювача 6, на виході якого формуються відповідні напруги, які перетворюються в струми  $I_3^+$ ,  $I_3^-$ .

$$I_3^+ = E_0 N_3 / R_N N_{\text{max}}, \quad (18)$$

$$I_3^- = -E_0 N_3 / R_N N_{\text{max}}, \quad (19)$$

Комутатори 9 та 10 і 11 та 12 знаходяться в тому ж положенні, що й при струмах  $I_1^+$ ,  $I_1^-$ . На виході АЦП 14 отримують коди  $N_{21}^+$ ,  $N_{21}^-$ ,  $N_{22}^+$ ,  $N_{22}^-$ , які пропорційні різницям спадків напруг між такими парами діодів 4.ij та 4.(i+1)j, 5.ij та 5.(i+1)j, 4.ij та 4.i(j+1), 5.ij та 5.i(j+1)

$$N_{31}^+ = K_{\text{АЦП}} K_{\text{ДП}} \left\{ \begin{aligned} &I_3^+ (R_{2Ci} - R_{2Ci+1}) + \\ &+ \frac{k}{q} \left[ T_{2i} \ln \frac{I_3^+}{I_{2S0i}} - T_{2i+1} \ln \frac{I_3^+}{I_{2S0i+1}} \right] - \\ &- E_g \frac{(T_{2i} - T_{2i+1})}{T_0} + (\Delta_{2Ci} - \Delta_{2Ci+1}) \end{aligned} \right\}, \quad (20)$$

$$N_{31}^- = K_{\text{АЦП}} K_{\text{ДП}} \left\{ \begin{aligned} &I_3^- (R_{3Ci} - R_{3Ci+1}) + \\ &+ \frac{k}{q} \left[ T_{3i} \ln \frac{I_3^-}{I_{3S0i}} - T_{3i+1} \ln \frac{I_3^-}{I_{3S0i+1}} \right] - \\ &- E_g \frac{(T_{3i} - T_{3i+1})}{T_0} + (\Delta_{3Ci} - \Delta_{3Ci+1}) \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

$$N_{32}^+ = K_{\text{АЦП}} K_{\text{ДП}} \left\{ \begin{aligned} &I_3^+ (R_{2Cj} - R_{2Cj+1}) + \\ &+ \frac{k}{q} \left[ T_{2j} \ln \frac{I_3^+}{I_{2S0j}} - T_{2j+1} \ln \frac{I_3^+}{I_{2S0j+1}} \right] - \\ &- E_g \frac{(T_{2j} - T_{2j+1})}{T_0} + (\Delta_{2Cj} - \Delta_{2Cj+1}) \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

$$N_{32}^- = \kappa_{\text{АЦП}} \kappa_{\text{ДП}} \left\{ \begin{aligned} & I_3^- (R_{3Ci} - R_{3Cj+1}) + \\ & + \frac{\kappa}{q} \left[ T_{3i} \ln \frac{I_3^-}{I_{3S0j}} - T_{3j+1} \ln \frac{I_3^-}{I_{3S0j+1}} \right] - \\ & - E_g \frac{(T_{3i} - T_{3j+1})}{T_0} + (\Delta_{3Ci} - \Delta_{3Cj+1}) \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

Коди  $N_{31}^+$ ,  $N_{31}^-$ ,  $N_{32}^+$ ,  $N_{32}^-$  уводяться в пам'ять мікро-ЕОМ 15 та зберігаються там.

Після отримання кодів при трьох значеннях струмів в процесорі мікро-ЕОМ 15 виконують обчислення різниць кодів

$$\begin{aligned} \Delta N_{2i(i+1)} &= (N_{11}^+ - N_{21}^+) - (N_{31}^+ - N_{11}^+) = \\ &= \kappa_{\text{АЦП}} \kappa_{\text{ДП}} \left\{ \begin{aligned} & (R_{2Ci} - R_{2Cj+1}) (2I_1^+ - I_2^+ - I_3^+) + \\ & + \frac{\kappa \Delta T_{2i(i+1)}}{q} \ln \frac{(I_1^+)^2}{I_2^+ I_3^+} \end{aligned} \right\} \quad (24) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta N_{3i(i+1)} &= (N_{11}^- - N_{21}^-) - (N_{31}^- - N_{11}^-) = \\ &= \kappa_{\text{АЦП}} \kappa_{\text{ДП}} \left\{ \begin{aligned} & (R_{3Ci} - R_{3Cj+1}) (2I_1^- - I_2^- - I_3^-) + \\ & + \frac{\kappa \Delta T_{3i(i+1)}}{q} \ln \frac{(I_1^-)^2}{I_2^- I_3^-} \end{aligned} \right\} \quad (25) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta N_{2j(j+1)} &= (N_{12}^+ - N_{22}^+) - (N_{32}^+ - N_{12}^+) = \\ &= \kappa_{\text{АЦП}} \kappa_{\text{ДП}} \left\{ \begin{aligned} & (R_{2Cj} - R_{2Cj+1}) (2I_1^+ - I_2^+ - I_3^+) + \\ & + \frac{\kappa \Delta T_{2j(j+1)}}{q} \ln \frac{(I_1^+)^2}{I_2^+ I_3^+} \end{aligned} \right\} \quad (26) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta N_{3j(j+1)} &= (N_{12}^- - N_{22}^-) - (N_{32}^- - N_{12}^-) = \\ &= \kappa_{\text{АЦП}} \kappa_{\text{ДП}} \left\{ \begin{aligned} & (R_{3Cj} - R_{3Cj+1}) (2I_1^- - I_2^- - I_3^-) + \\ & + \frac{\kappa \Delta T_{3j(j+1)}}{q} \ln \frac{(I_1^-)^2}{I_2^- I_3^-} \end{aligned} \right\} \quad (27) \end{aligned}$$

де  $\Delta T_{2i(i+1)} = T_{2i} - T_{2i+1}$ ;  $\Delta T_{3i(i+1)} = T_{3i} - T_{3i+1}$ ;  $\Delta T_{2j(j+1)} = T_{2i} - T_{2j+1}$ ;  $\Delta T_{3j(j+1)} = T_{3i} - T_{3j+1}$ .

Для забезпечення інваріантності до сумарних опорів вимірювального кола, за умови, що  $|I_1^+| = |I_1^-| = I_1$ ,  $|I_2^+| = |I_2^-| = I_2$ ,  $|I_3^+| = |I_3^-| = I_3$ , співвідношення між струмами  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  вибирають такими  $I_1 - I_2 - I_3 = 0$ . Якщо вибрати  $I_1 = aI_2$  ( $a > 0$ ), то  $I_3 = (2a - 1)I_2 = I_1(2a - 1)/a$ , і тоді рівняння (24)-(27) подамо у виді

$$\Delta N_{2i(i+1)} = \Delta T_{2i(i+1)} \frac{\kappa}{q} \ln \frac{a^2}{2a - 1}, \quad (28)$$

$$\Delta N_{3i(i+1)} = \Delta T_{3i(i+1)} \frac{\kappa}{q} \ln \frac{a^2}{2a - 1}, \quad (29)$$

$$\Delta N_{2j(j+1)} = \Delta T_{2j(j+1)} \frac{\kappa}{q} \ln \frac{a^2}{2a - 1}, \quad (30)$$

$$\Delta N_{3j(j+1)} = \Delta T_{3j(j+1)} \frac{\kappa}{q} \ln \frac{a^2}{2a - 1}, \quad (31)$$

Після визначення різниць кодів за формулами (28)-(31) мікро-ЕОМ 15 зчитує вихідний код  $N_B$ , витратоміра енергоносія 17 і підраховує код кількості  $N_{Ql}$  спожитої теплової енергії в  $l$ -тому опалюваному приміщенні і заносить його в пам'ять мікро-ЕОМ 15.

$$N_{Ql+1} = C \cdot N_B \cdot \Delta t_l \cdot \Delta N_l + N_{Ql}, \quad (32)$$

де  $N_{Ql}$  - попереднє значення коду кількості спожитої теплової енергії в  $l$ -тому опалюваному приміщенні у вихідний момент часу  $t_l$ ;

$\Delta N_i$  - різниці кодів визначені за рівняннями (28)-(31);

$C$  - код пропорційний до питомої теплоємності води;

$\Delta t_i = t_{i+1} - t_i$  - код інтервалу часу, через який визначається кількість спожитого тепла.

Потім підраховують код  $N_{ip}$  кількості спожитого тепла у всіх  $p$  приміщеннях індивідуального споживача.

$$N_{ip} = \sum_{i=1}^p N_{Qi}, \quad (33)$$

Як видно з рівнянь (28)-(31), код результату вимірювання різниць температур між приміщеннями не залежить від сумарних опорів ліній зв'язку, опорів замкнених ключів комутаторів, а також від опорів баз та виводів діодних перетворювачів температури, а отже, і від їх розміщення в просторовій матриці, тобто положення в певному опалюваному приміщенні. Крім того, як показують рівняння (8)-(11), (14)-(17) і (20)-(23), коди проміжних результатів перетворень не залежать від початкового спаду напруг на діодах при кімнатній температурі  $T_0$

$$U_{g0} = R_E I + \frac{kT_0}{q} \ln \frac{I}{I_{S0}} \quad (\text{див. формулу (1)}), \text{ що значно зменшує вимоги до розрядності АЦП 14 та його точності.}$$

Розрядність АЦП зменшується також завдяки усуненню необхідності переведення абсолютної температури в шкалу Цельсія. Вибір вимірювальних струмів  $I_1, I_2, I_3$  набагато більшим - на декілька порядків - від максимально можливих значень зворотних струмів  $p$ - $n$  переходів, суттєво зменшує статичний опір діодних перетворювачів температури, а отже і похибку від завад нормального виду. Використання в структурі диференційного підсилювача додатково збільшуватиме коефіцієнт послаблення завад. Результат вимірювання різниць температур не залежить від конструктивно-технологічних параметрів діодних перетворювачів температури, а також контактних е.р.с., що можуть виникати в лініях зв'язку.

Зміною станів кодо-керованих комутаторів за програмою з мікро-ЕОМ 15 (принципово довільним чином) може вмикатися будь-яка пара діодних перетворювачів температури, що може бути використано для перевірки коректності підрахунку спожитого тепла в окремих приміщеннях, або з метою діагностування працездатності системи. При цьому, на кожній увімкненій парі діодних перетворювачів температури по чергові вмикаються три різні значення вимірювальних струмів.

Результат вимірювання спожитої теплової енергії або (і) різниці температур індукуються в блоці відображення інформації разом із номерами приміщень та з мітками часу, до яких дані результати вимірювань відносяться.

Використання як перетворювачів температури серійних дешевих малопотужних діодів дозволить суттєво зменшити собівартість пристрою обліку теплової енергії, а також надати їй нові якості - облік реально спожитого тепла в опалюваних приміщеннях індивідуальних споживачів, перевірка коректності даних та діагностування системи, яка може бути виконана на базі колективних теплолічильників.

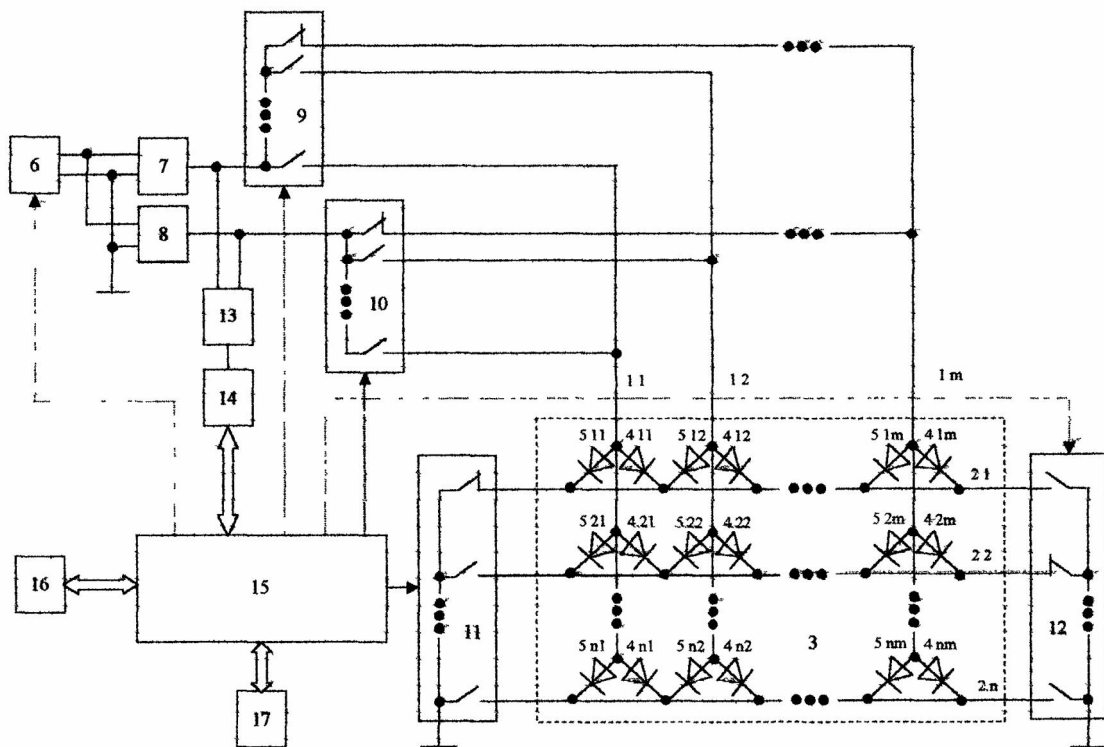
Робота системи обліку спожитої теплової енергії здійснюється автоматично за блок-схемою алгоритму, наведеного на фігурі 2.

Перед початком роботи системи в пам'ять мікро-ЕОМ 15 заносять вихідні дані (оператор 1) про розмірність матриці, кількості індивідуальних споживачів  $I$ , кількості  $p$  опалюваних приміщень в них, коефіцієнтів  $k, q$ , кодів  $N_1, N_2, N_3$ , періоду опитування однієї точки  $\Delta t_1$ . Далі проводять опитування діодних перетворювачів у вузлах матриці. Спочатку встановлюється полярність вимірювального струму (оператор 3),  $S=0$  - відкриваються діоди 4.11, ..., 4.1m; ..., 4n1, ..., 4nm;  $S=1$  - відкриваються діоди 5.11, ..., 5.1m; 5n1, ..., 5nm. Потім опит починається з діодів першого стовпця  $i=1$  (в комутаторах 9 і 10 включається перший ключ), в комутаторі 11  $j=1$  включається перший ключ, в комутаторі 12  $e=j+1$  - другий ключ. З допомогою признаку  $L$  операторів 10, 11 формується значення коду струму через діоди у відповідності із заданими кодами  $N_1, N_2, N_3$ . Отримані коди подаються на цифро-аналоговий перетворювач 6 (оператор 16). З АЦП 14 зчитуються коди  $N_{12}^+, N_{12}^-, N_{22}^+, N_{22}^-, N_{32}^+, N_{32}^-$

(оператор 17). Операторами 18 та 19 організується формування другого значення струму  $I_2$  (оператори 11, 14) та третього значення струму (оператори 11, 15). Після отримання трьох значень коду (оператор 17) оператор порівняння подає команду для підрахунку коду різниці температур в помешканнях  $\Delta N$  (оператор 19), значення різниці температур  $\Delta T_{ij}$  запам'ятовується в мікро-ЕОМ 15 та виводиться на блок відображення інформації 16 (оператор 20). Далі зчитується код з витратоміра енергоносія 17  $N_{Qi}$ , код  $\Delta t_1$ , код  $N_{Qi}$  попереднього значення коду спожитого тепла в цьому приміщенні (оператори 21, 22, 23). Далі обчислюється і запам'ятовується в мікро-ЕОМ 15 спожита енергія в даному приміщенні (оператор 24) та індивідуальним споживачем (оператор 25). З допомогою операторів порівняння 26, присвоєння 27, 28 здійснюється перемикання рядків 2.1, 2.2, ..., 2.11 струмопровідних шин матриці 3 на даному стовпці (оператор 29). Операторами 30, 31, 32 перемикаються стовпці 1.1, 1.2, ..., 1.n струмопровідних шин матриці 3. При виконанні умови  $j > n-1$  матриця перемикається на наступний стовпець.

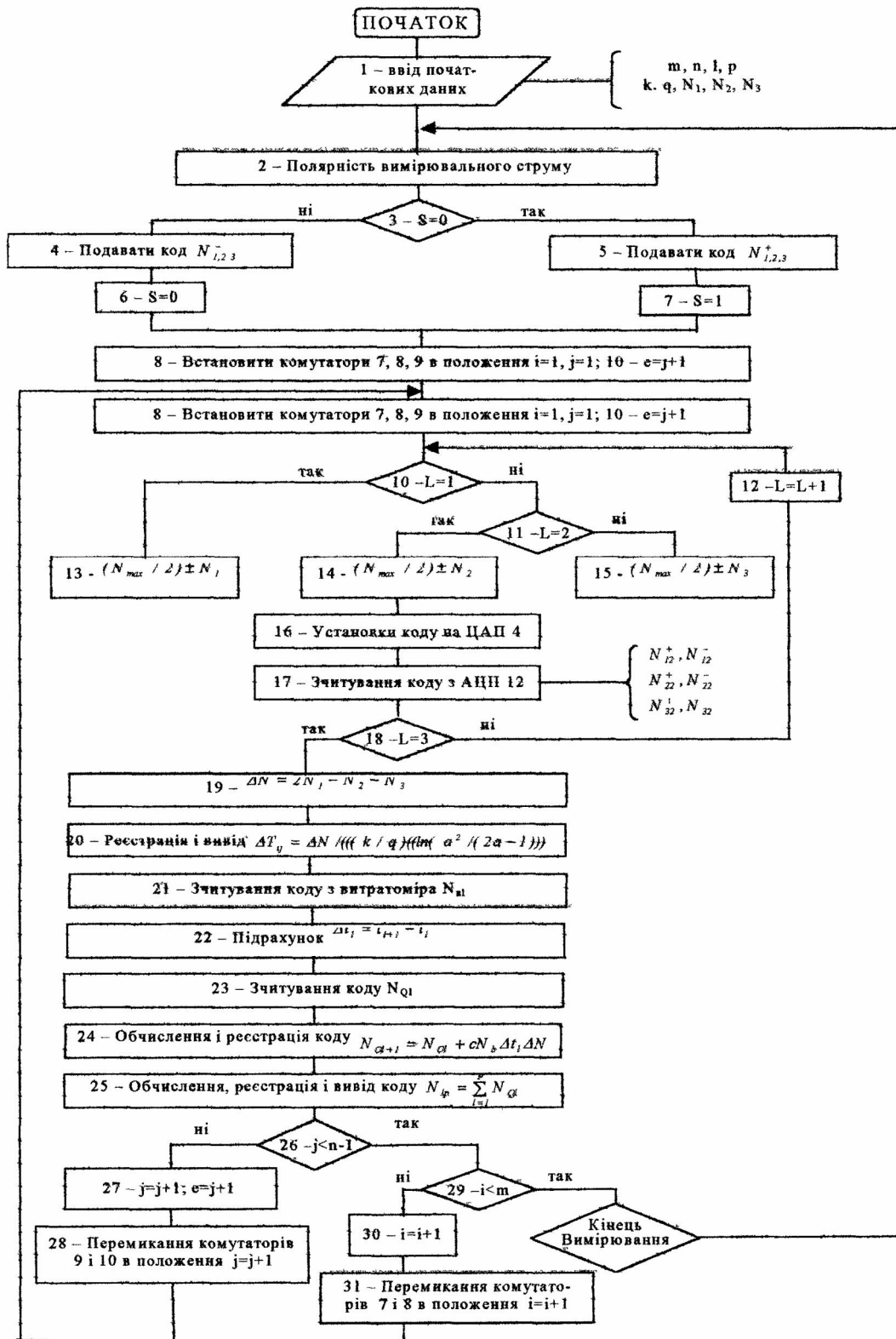
Після закінчення опиту всіх пар діодів, розташованих у вузлах матриці, отриманій відповіді "так" в операторі 30 і відсутності ознаки "кінець вимірювання" (оператор 33) керування передається оператору 3 і за ознакою  $S=0$  виробляються протилежні за напрямом струми і вмикаються пари діодів з номерами 5.11, ..., 5.1m; 5n1, ..., 5nm. Після чого робота системи повністю повторюється.

Завдяки модуляції вимірювальних струмів повністю усувається вплив неінформативних параметрів ліній зв'язку та діодних перетворювачів температури. Диференціальне матричне увімкнення пар діодних перетворювачів температури забезпечує можливість точного вимірювання різниці температур в опалюваних приміщеннях. З допомогою запропонованого пристрою можна здійснювати точний облік тепла в індивідуальних споживачів і сумарну кількість спожитого тепла будівлею.



Фиг. 1





Фіг. 2.