

## ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ МОНІТОРИНГУ НЕЕЛЕКТРИЧНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ТА МАТЕРІАЛЬНИХ ПОТОКІВ

О.М. Заславський<sup>1</sup>, В.В. Ткачов<sup>2</sup>, С.М. Проценко<sup>3</sup>, О.В.Карпенко<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Національний ТУ «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна,  
[zaslavskyi.o.m@nmu.one](mailto:zaslavskyi.o.m@nmu.one), ORCID 0000-0001-7812-7229

<sup>2</sup> Національний ТУ «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна,  
[tkachev@nmu.one](mailto:tkachev@nmu.one), ORCID 0000-0002-2079-4923

<sup>3</sup> Національний ТУ «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна,  
[protsenko.s.m@nmu.one](mailto:protsenko.s.m@nmu.one), ORCID 0000-0003-2624-0187

<sup>4</sup> Національний ТУ «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна,  
[karpenko.o.v@nmu.one](mailto:karpenko.o.v@nmu.one), ORCID 0000-0003-0115-5234

## PRINCIPLES OF SOFTWARE CONSTRUCTION FOR NON-ELECTRIC ENERGY AND MATERIAL FLOWS MONITORING

A. Zaslavskyi<sup>1</sup>, V. Tkachev<sup>2</sup>, S. Protsenko<sup>3</sup>, O. Karpenko<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine,  
[zaslavskyi.o.m@nmu.one](mailto:zaslavskyi.o.m@nmu.one), ORCID 0000-0001-7812-7229

<sup>2</sup> Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine,  
[tkachev@nmu.one](mailto:tkachev@nmu.one), ORCID 0000-0002-2079-4923

<sup>3</sup> Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine,  
[protsenko.s.m@nmu.one](mailto:protsenko.s.m@nmu.one), ORCID 0000-0003-2624-0187

<sup>4</sup> Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine,  
[karpenko.o.v@nmu.one](mailto:karpenko.o.v@nmu.one), ORCID 0000-0003-0115-5234

В роботі розглянуто принципи побудови комп'ютерної системи моніторингу неелектричних енергетичних та матеріальних потоків на промислових підприємствах металургійної та хімічної галузей промисловості. Наведено дані про особливості програмного забезпечення та технічної реалізації системи моніторингу неелектричних енергетичних та матеріальних потоків. Метою роботи є побудова принципової основи таких програмних та технічних рішень, на які повинна спиратися уніфікована система цифрового моніторингу енергоносіїв, широкого спектру призначень для використання на розосереджених об'єктах зі складної топологією інформаційних мереж. За результатами аналітичних досліджень побудовано математичну модель обчислення витрат газів, пару та рідин у розосередженій інтелектуальній мережі, знайдено принципові схемо технічні та програмні рішення щодо побудови локальних цифрових обчислювачів та принципів їх взаємодії у розосередженій мережі з сервером системи моніторингу неелектричних матеріальних та енергетичних потоків. Наукова новизна одержаних результатів полягає у розробці нових алгоритмічних та структурних принципів побудови комп'ютерних мережевих систем моніторингу енергоносіїв. За результатами проведених досліджень розроблено сумісно з фахівцями міжгалузевої корпорації «Облік» конструкторську документацію та оригінальне програмне забезпечення програмно технічного комплексу, який втілено у промислову експлуатацію для диспетчерського контролю та технічного обліку енергоносіїв на Дніпровському коксохімічному заводі у місті Кам'янсько Дніпропетровської області.

**Ключові слова:** цифровий моніторинг, інтерфейс, мікроконтролер – вимірювач, концентратор, адресний простір, інтелектуальний лічильник, база даних.

Структурна схема програмного комплексу системи моніторингу неелектричних енергоносіїв наведена на рисунку 1. Адресний простір, який призначено для зберігання не опрацьованих даних про витрати енергоносіїв, якість вимірювання, мінімальних та максимальних значень вимірюваних параметрів, розбито на чотири частини для відображення його за допомогою протоколу MODBUS [1,2].

Старша чверть використовується для передачі службової інформації (читання поточного значення, запису/читання конфігурації). Решта – три чверті є областю для зберігання хвилинних значень витрат за три доби. Оскільки одна доба дорівнює 1440 хвилин, номер необхідної хвилини в добі є фактично адресом області пам'яті з урахуванням вказівки доби (сьогодні, вчора, позавчора).

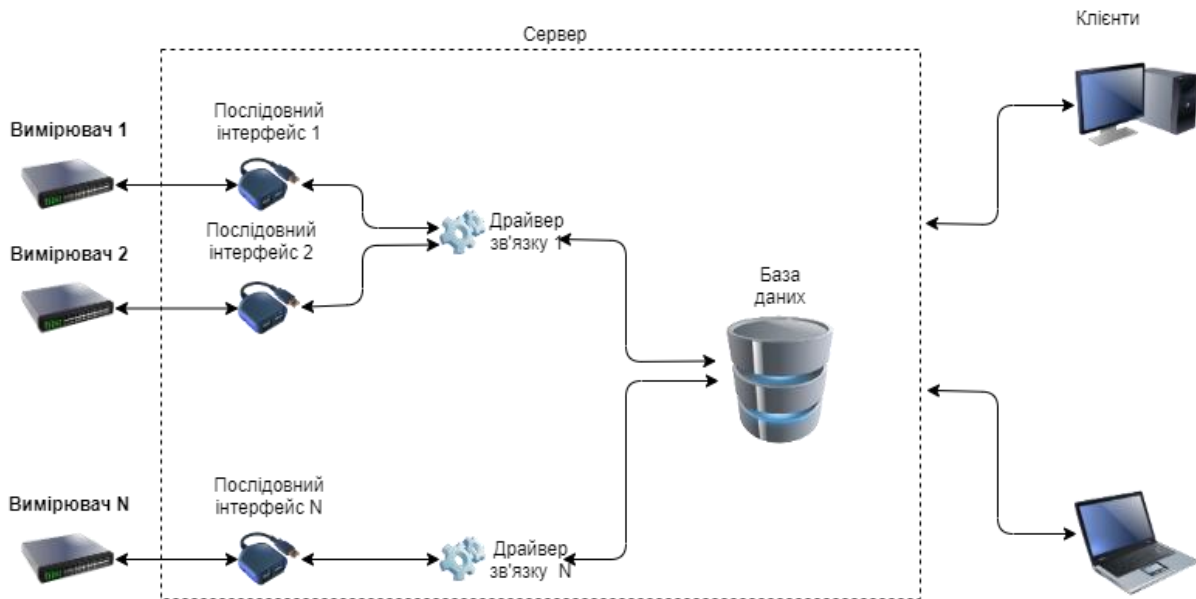


Рисунок 1 - Структурна схема програмного комплексу системи моніторингу неелектричних енергоносіїв

Система моніторингу має клієнт - серверну організацію. Вона включає програмне забезпечення сервера, клієнта, конфігуратора, програми моніторингу та базу даних, доступом до якої керує SQL - сервер InterBase [3].

Через послідовні інтерфейси відбувається опитування вимірювачів, які розосереджені у просторі контролюваного об'єкту. Для прискорення опитування вимірювачів передбачено можливість створювати необхідну кількість драйверів зв'язку для паралельного опитування об'єктів вимірювання, що істотно підвищує швидкість обміну інформацією.

Паралельність запису інформації з вимірювачів забезпечується можливістю буферизації інформації в концентраторах мікроконтролер вбудовано модуль RTS, що підтримує годинник реального часу і календар, який синхронізує паралельність запису з вимірювачів. До кожного концентратора по зовнішньому послідовному синхронному каналу може бути підключено до 8 вимірювачів. До інформаційної мережі концентратор підключено через асинхронний послідовний порт.

Концентратор кожну хвилину подає запит підключеним до нього вимірювачам. По цьому запиту вимірювачі по черзі передають йому мінімальне, максимальне та інтегральне (накоплене за хвилину) значення параметру, що вимірюється, а також запускають новий відлік параметру. Одержані значення концентратор відразу заносить по SPI інтерфейсу до зовнішньої флеш пам'яті. Адресний простір цієї пам'яті організовано таким чином, що молодші значення адреси кожної комірки це номер хвилини виміру від початку доби. З флеш - накопичувача концентратора сервер, що керує моніторингом, в любий момент може прочитати ці значення по мережі до якої підключений концентратор.

Інтелектуальний лічильник газу або рідини здійснює вимірювання швидкості  $v$  протікання вимірюваної речовини, наприклад за допомогою ультразвукового вимірювача. Обчислення об'ємної величини витрати енергоносія здійснюється інтегруванням (1).

$$W_q = \Delta t S \sum_{k=1}^{k=n} v(t_k), \quad (1)$$

де  $\Delta t$  - проміжок часу між суміжними відліками швидкості  $v(t_k)$  протікання вимірюваної речовини,  $S$  - площа перерізу у отворі лічильника, де вимірюється витрата речовини.

Якщо здійснюється моніторинг газу, то одержане значення приводиться до нормальних умов (2).

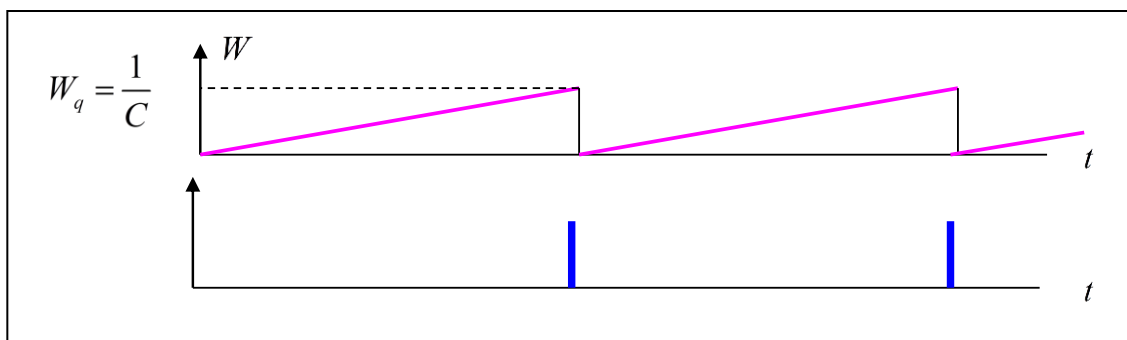
$$W_{q0} = 2,696 W_q \frac{P}{T}, \quad (2)$$

де  $P$  (кПа) - абсолютний тиск газу,  $T$  (К) - температура газу.

Інформація про витрати енергоносіїв може передаватися імпульсами, кількість яких пропорційна витраті, що виміряна. Облік енергоносія в такому разі здійснює інтелектуальний пристрій - тарифікатор, який підсумовує імпульси на заданих інтервалах часу і обчислює витрату енергоносія  $W$  (3).

$$W = \frac{N}{C}, \quad (3)$$

де  $N$  – кількість врахованих імпульсів,  $C$  – константа, така, що вказує кількість імпульсів, які видаються датчиком при вимірі одиничної кількості енергоносія, наприклад, 200 імп/літр або 1500 імп/кВт\*ч. Принцип формування телеметричних імпульсів зображено на рисунку 2.



**Рисунок 2 - Принцип формування телеметричних імпульсів**

Тарифікатор одержує телеметричні імпульси від деякої кількості первинних датчиків і формує у енергонезалежній пам'яті структурований масив даних обліку з мітками якості та прив'язкою до астрономічного часу.

Параметричний моніторинг здійснюється в тих умовах, коли витрату енергоносія необхідно обчислювати за первинними даними, які одержуються за результатами вимірювань перепаду тиску на звужуючих пристроях (наприклад, діафрагмах), а також тиску та температури контрольованої речовини у напірному трубопроводі [4].

Об'ємна і масова витрата сухого газу (пара), приведена до нормальних умов (4, 5).

$$q_{ном} = 0,059736\alpha\varepsilon K_i^2 d_{20}^2 Q^* \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho} \cdot \frac{P}{T}} (m^3 / s), \quad (4)$$

$$m_{ном} = 0,059736\alpha\varepsilon K_i^2 d_{20}^2 Q^* \sqrt{\Delta P \cdot \rho \cdot \frac{P}{T}} (kg / s). \quad (5)$$

Об'ємна і масова витрата рідини:

$$q_0 = 01,1105 \cdot K_i^2 d_{20}^2 \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}} (m^3 / s), \quad (6)$$

$$m_0 = 1,1105 \cdot \alpha \cdot K_i^2 \cdot d_{20}^2 \sqrt{\Delta P \cdot \rho} (kg / s) \quad (7)$$

У цих формулах  $P$  і  $\Delta P$  вимірюється в Па, -  $T$  в градусах Кельвіна, щільність  $\rho$  у ( $m^3/c$ ), внутрішній діаметр  $d$  отвору пристрою звуження - в м. Для отримання об'ємної витрати у  $m^3/год.$  необхідно обчислену об'ємну витрату помножити на коефіцієнт 3600. Для отримання масової витрати в т / год необхідно обчислену масову витрату помножити на коефіцієнт 3,6. Коефіцієнти  $\alpha$  та  $K_i$  є константами для даної точки обліку, які вводяться при параметризації,  $\varepsilon$  - коефіцієнт «розширення» для газу і пари відносна калорійність газу становить:

$$Q^* = \frac{Q}{Q_{ном}}. \quad (8)$$

## Енергозбереження та енергоефективність

Особливістю обліку газових енергоносіїв є необхідність контролювати три параметри по кожній точці обліку, це: падіння тиску на вимірювальній шайбі, тиск газу а також температури газу. Крім цього горючі гази можуть утворювати вибухонебезпечні суміші, тому вимір їх параметрів відбувається в два етапи. Спочатку, в іскробезпечній зоні тиск і температура перетворюється сильфонними перетворювачами в стандартні тиски з діапазоном значення 0-1 атм або 0.2-1 атм. Цей тиск пневмотрубками подається в пультові, які знаходяться за межами іскробезпечних зон, і там перетворювачами типу Сапфір перетворюються в стандартні струмові сигнали діапазону 0-5 та або 4-20 та. Зважаючи на те, що ці сигнали використовуються не тільки системою моніторингу, але ще й існуючими системами автоматичного регулювання технологічними процесами, додатково вимогою до системи моніторингу неелектричних носіїв є повна гальванічна розв'язка всіх каналів вимірювання між собою. Аналіз рішень щодо розв'язки безпосередньо аналогових електричних сигналів показав, що необхідна точність вимірювань досягається лише ціною невиправдано дорогих і примхливих в налаштуванні і експлуатації вузлів розв'язки. З огляду на це, нижній рівень системи вирішено було виконати у вигляді трьохканального аналого-цифрового вимірювача, з живленням кожного каналу від гальванічно незалежних перетворювачів. Точність вимірювання при цьому підході забезпечується: застосуванням в кожному вимірювальному каналі мікроконтролера Nuvoton 76ne003 з 12- розрядним аналоговоцифровим перетворювачем, використанням струмовимірювальних резисторів з точністю 0,1%, застосування для живлення мікроконтролера прецизійного стабілізатора MS1700, а також інтегрального виміру параметрів на основі 120 вибірових відліків з періодом 0,5сек. На рисунку 3 наведено приклади звітів системи моніторингу енергетичних потоків, які формуються клієнтською та серверною програмами.

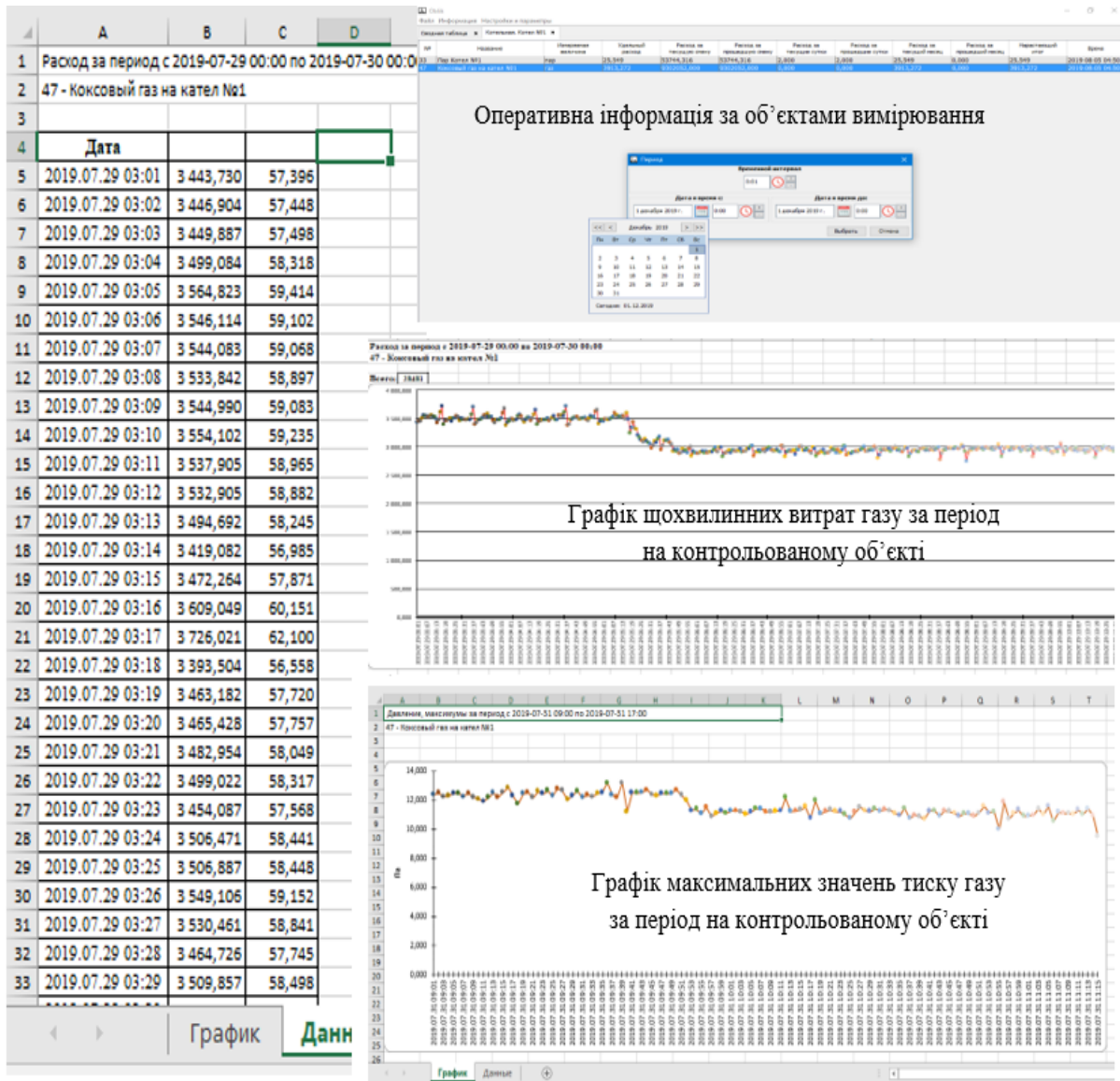


Рисунок 3 - Приклади звітів системи моніторингу енергетичних потоків

Після отримання інформації від вимірювачів, драйвер зв'язку обробляє попередні дані, і записує отриману і обчислену інформацію в базу даних, яка знаходиться на сервері. У базі даних зберігаються інтегральні значення витрат та контрольованих параметрів (результати усереднень 120 вибіркового відліків протягом однієї хвилини), а також мінімуми та максимуми цих хвилинних витрат (максимальне і мінімальне значення за 120 відліків). У обчисленні витрат використовуються дані, що вносяться при конфігуруванні системи, дані, що отримано драйверами з периферії системи, та довідкові дані. Крім того необхідно використовувати дані, що отримані від лабораторії на поточний момент. Внесення цих даних у систему керується відповідним клієнтським програмним забезпеченням. Так само в базі зберігається наростаючий підсумок по кожному значенню яке вимірюється. Все це дозволяє надавати кінцевим користувача (клієнтам) різноманітні і точні звіти про спожиті обсяги різних неелектричних середовищ (газ, пар, вода, тощо). Приклади таких звітів наведено на рисунку 3. Точність вимірювання при цьому підходить забезпечується шляхом застосування в кожному вимірювальному каналі мікроконтролера Nuvoton 76ne003 з 12- розрядним аналоговоцифровим перетворювачем, використанням струмовимірювальних резисторів з точністю 0,1%, застосування для живлення мікроконтролера прецизійного стабілізатора MC1700, а також інтегрального виміру параметрів на основі 120 вибіркового відліків з періодом 0,5сек. На рис. 2 наведено приклади звітів системи моніторингу енергетичних потоків, які формуються клієнтською та серверною програмами. Така структура програмного забезпечення системи найбільше відповідає принципу програмування на базі об'єктно орієнтованої мови Java.

### Висновки

1. Розроблено принципи побудови програмних засобів моніторингу, що забезпечують збір поточних та накопичення інтегральних показників неелектричних енергетичних та матеріальних потоків підприємства, яке може бути розосереджене на значній території.

2. Створено надійне, достовірне та економічно доцільне джерело первинної інформації, яке забезпечує можливості в плановому та поточному режимі вирішувати задачі обчислення енергетичних балансів у будь-якій деталізації, розраховувати оптимальну структуру виробництва, закупівель та споживання палива та енергії, оцінювати реальні їх втрати, планувати заходи щодо підвищення енергоефективності та енергозбереження.

3. Цільовими споживачами пропонованої інноваційної розробки технологій цифрового моніторингу енергетичних потоків являються підприємства, що генерують теплову та електричну енергію, а також металургійні, гірничодобувні, хімічні та машинобудівні підприємства, які споживають та виробляють різноманітні енергоносії.

4. Досягнуто зниження питомої вартості апаратно – програмного комплексу на точку обліку в 1,5 – 2 рази з урахуванням кон'юнктури ринку систем аналогічного призначення.

5. Наступні дослідження фокусуються у напрямку створення алгоритмічної та програмної бази побудови експертної системи моніторингу енергетичних потоків з урахуванням взаємних кореляцій усіх енергоносіїв.

### Перелік посилань

1. Modbus UDP Specification. Java Modbus Library (електронний ресурс)
2. Charles Palmer, Sujeet Shenoі (ed) Critical Infrastructure Protection III: Third IFIP WG 11. 10 International Conference, Hanover, New Hampshire, USA, March 23–25, 2009, Revised Selected Papers Springer, 2009 ISBN 3-642-04797-1, page 87
3. Interbase.com/products/interbase (електронний ресурс)
4. ГОСТ 8.586.1-2005 (ИСО 5167-1:2003), Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств
5. Заславський О.М., Кухарчук В.В. (2008). *Вимірювання електричної енергії методом безпосереднього інтегрування та подвійного сканування миттєвих значень струму та напруги*. Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – №1 (15). – С.191 – 196.

6. Кухарчук В.В., Заславський О.М. (2012). *Комп'ютеризована система обліку електричної енергії*. Вінниця, ВНТУ. – 152 с.

7. Заславський О.М., Соснін К.В., Зибалов Д.С., Славінський Д.В., Воскобойник Є.К. (2019). *Теоретичні основи комп'ютерних систем збирання, перетворення та передачі інформації: підруч.* М-во освіти та науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро: НТУ «ДП», – 292 с.

### Аннотація.

В работе рассмотрены принципы построения компьютерной системы мониторинга неэлектрических энергетических и материальных потоков на промышленных предприятиях металлургической и химической отраслей промышленности. Приведены данные об особенностях программного обеспечения и технической реализации системы мониторинга неэлектрических энергетических и материальных потоков. Целью работы является построение принципиальной основы таких программных и технических решений, на которые должна опираться унифицированная система цифрового мониторинга энергоносителей, широкого спектра назначений для использования на рассредоточенных объектах из сложной топологией информационных сетей. По результатам аналитических исследований построена математическая модель расчета расходов газов, паров и жидкостей в рассредоточенной интеллектуальной сети, найдены принципиальные схемы технические и программные решения по построению локальных цифровых вычислителей и принципов их взаимодействия в рассредоточенной сети с сервером системы мониторинга неэлектрических материальных и энергетических потоков. Научная новизна исследования заключается в разработке новых алгоритмических и структурных принципов построения компьютерных сетевых систем мониторинга энергоносителей. По результатам проведенных исследований разработаны совместно со специалистами межотраслевой корпорации «Учет» конструкторскую документацию и оригинальное программное обеспечение программно-технического комплекса, который воплощен в промышленную эксплуатацию для диспетчерского контроля и технического учета энергоносителей на Днепропетровском коксохимическом заводе в городе Каменка Днепропетровской области.

**Ключевые слова:** цифровой мониторинг, интерфейс, микроконтроллер - измеритель, концентратор, адресное пространство, интеллектуальный счетчик, база данных.

### Abstract

The principles of construction of a computer system for monitoring non-electric energy and material flows at industrial enterprises of the metallurgical and chemical industries are considered in the work. Data on the features of software and technical implementation of the monitoring system of non-electric energy and material flows are given. The aim of the work is to build a fundamental basis for such software and technical solutions, which should be based on a unified system of digital energy monitoring, a wide range of applications for use in scattered facilities with a complex topology of information networks. Based on the results of analytical research, a mathematical model for calculating the consumption of gases, vapors and liquids in a dispersed intelligent network, found basic schemes, technical and software solutions for building local digital computers and the principles of their interaction in a dispersed network with the server monitoring non-electric material and energy flows. The scientific novelty of the obtained results lies in the development of new algorithmic and structural principles of construction of computer network systems for energy monitoring. According to the results of the research, the design documentation and original software of the software and technical complex, which is implemented in industrial operation for dispatch control and technical accounting of energy at the Dnieper Coke Plant in Kamianske, Dnipropetrovsk region, were developed jointly with the specialists of the inter-branch corporation "Accounting".

**Keywords:** digital monitoring, interface, microcontroller - meter, concentrator, address space, smart meter, database.

*Рекомендовано до друку: д-р. техн. наук, професором Слесаревим В.В.*