

УДК

## ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ МОНІТОРИНГУ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ТА МАТЕРІАЛЬНИХ ПОТОКІВ

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

<sup>1</sup> Україна, Дніпро, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

## PRINCIPLES OF CONSTRUCTION OF TECHNICAL MEANS OF MONITORING ENERGY AND MATERIAL FLOWS

O. Zaslavs'kyi<sup>1</sup>, O. Karpenko<sup>1</sup>, S. Protsenko<sup>1</sup>, V. Tkachov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ukraine, Dnipro, Dnipro university of technology

**Мета.** Розробка підходів до створення надійного та економічно доцільного джерела первинної інформації, яке забезпечує можливість в плановому та поточному режимі вирішувати задачі обчислення енергетичних балансів у будь-якій деталізації, розрахуванні оптимальної структури виробництва, закупівель та споживання палива та енергії, оцінювати реальні їх втрати, планувати заходи щодо підвищення енергоефективності та енергозбереження..

**Методика дослідження** полягає у створенні уніфікованої апаратно-програмної бази розгалуженої деревоподібної мережі мікропроцесорних приладів обліку енергоносіїв.

**Результати дослідження.** Запропонована узагальнена структурна схема комплексу. Для реалізації функцій моніторингу енергетичних потоків комплекс здійснює автоматичний збір інформації щодо питомих та поточних витрат електричної енергії, різних газів, пару, стиснутого повітря, води та інших рідин, що використовуються або виробляються у технологічних процесах.

**Практичне значення.** Представлені дані про інноваційний проект системи енергетичного моніторингу, розглянуто принципи та приклад побудови системи моніторингу потоків енергії, в тому числі, газів, стиснутого повітря, рідин, пара, електрики.

**Ключові слова:** моніторинг, енергетичні потоки, матеріальні потоки, газ, стисле повітря, рідина, пар, електрика.

### 1. ВСТУП

Перехід до принципово нової парадигми соціально-економічного розвитку країни: від орієнтації переважно на споживання природних ресурсів, до високотехнологічних виробництв забезпечується використанням ІТ-технологій, сучасних засобів комунікації та цифрових процесів. Базовою умовою отримання досконалих рішень щодо ефективного використання енергетичних ресурсів є побудова розгалуженої системи моніторингу енергетичних потоків. Перед розробниками такої системи стоять задачі забезпечити в процесі моніторингу [1] виконання наступних вимог: повноти охоплення джерел первинної інформації, максимальної деталізації зняття інформації, безперервності або граничної дискретності її зняття, високої швидкості її передавання та надійності збереження. Особливість моменту, який актуалізував виконання цього завдання в енергетичній сфері України, полягає в тому, що саме зараз світова економіка включно з економікою нашої країни, знаходяться під впливом двох революційних технологічних проривів, а саме: цифрової революції та революції енергетичної [2, 3]. Водночас, якщо засоби обробки інформації – комп'ютери і програмне забезпечення – характеризуються достатнім рівнем розвитку, то системи збирання інформації (мережеве обладнання, датчики, перетворювачі, лічильники, аналізатори, тощо) потребують подальшого вдосконалення, розробки нових, більш точних і досконалих зразків [4]. Економічний ефект від упровадження системи моніторингу досягається за рахунок синхронності й точності вимірювань, виключення «людського фактору»; можливості в плановому та поточному режимі вирішувати задачі обчислення енергетичних балансів у будь-якій деталізації; скорочення термінів передавання даних; скорочення транспортних та інших комунікаційних витрат; своєчасного виявлення, локалізації та усунення втрат від несанкціонованого відбору; зниження власного споживання енергоресурсів на господарські потреби; можливості розширення обсягу й функціональності системи без значних матеріальних витрат [5].

**Мета** даної роботи полягає у розробці підходів до створення надійного та економічно доцільного джерела первинної інформації, яке забезпечує можливість 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. Основні задачі, що потребують вирішення для втілення цієї мети, полягають у зниженні питомої вартості апаратно-програмного комплексу системи моніторингу енергетичних потоків та розробці ефективних алгоритмів прогнозування на базі комплексного аналізу матеріальних і енергетичних потоків, який враховує їхні взаємні кореляції.

**Ідея** розробки полягає у створенні розгалуженої мережі недорогих уніфікованих мікропроцесорних пристроїв обліку енергоносіїв без вбудованих традиційних засобів відображення інформації. Вся інформація, щодо параметрів та обсягів енергетичних потоків може бути одержана користувачами у цифровому вигляді при підключенні до цієї мережі. Об'єднання мереж моніторингу електричних та неелектричних потоків дозволить у подальшому враховувати їх взаємні кореляції при оперативному та стратегічному прогнозуванні витрат енергоносіїв.

**Метод** вирішення поставлених задач полягає у створенні уніфікованої апаратно-програмної бази розгалуженої деревоподібної мережі мікропроцесорних приладів обліку енергоносіїв.

## 2. СКЛАД, ФУНКЦІЇ ТА СТРУКТУРА КОМПЛЕКСУ МОНІТОРИНГУ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОТОКІВ

Запропонована узагальнена структурна схема комплексу яка представлена на рис. 1. Для реалізації функцій моніторингу енергетичних потоків комплекс здійснює автоматичний збір інформації щодо питомих та поточних витрат електричної енергії, різних газів, пару, стиснутого повітря, води та інших рідин, що використовуються або виробляються у технологічних процесах.

Для цього в складі комплексу передбачено наступні функціональні складові:

- інтелектуальні лічильники електроенергії та неелектричних носіїв;
- тарифікатори (суматори) телеметрії. Здійснюють збір, обробку, накопичення і зберігання інформації, представлені чисельно-імпульсними кодами;
- перетворювачі фізичних величин (тиск, температура) в електричні сигнали;
- контролери-обчислювачі. Здійснюють обробку електричних сигналів від первинних датчиків і перетворювачів, інтегрування даних на інтервалі часу 1 хв, а також обчислення мінімальних і максимальних значень параметрів енергоносіїв на хвилинних інтервалах;

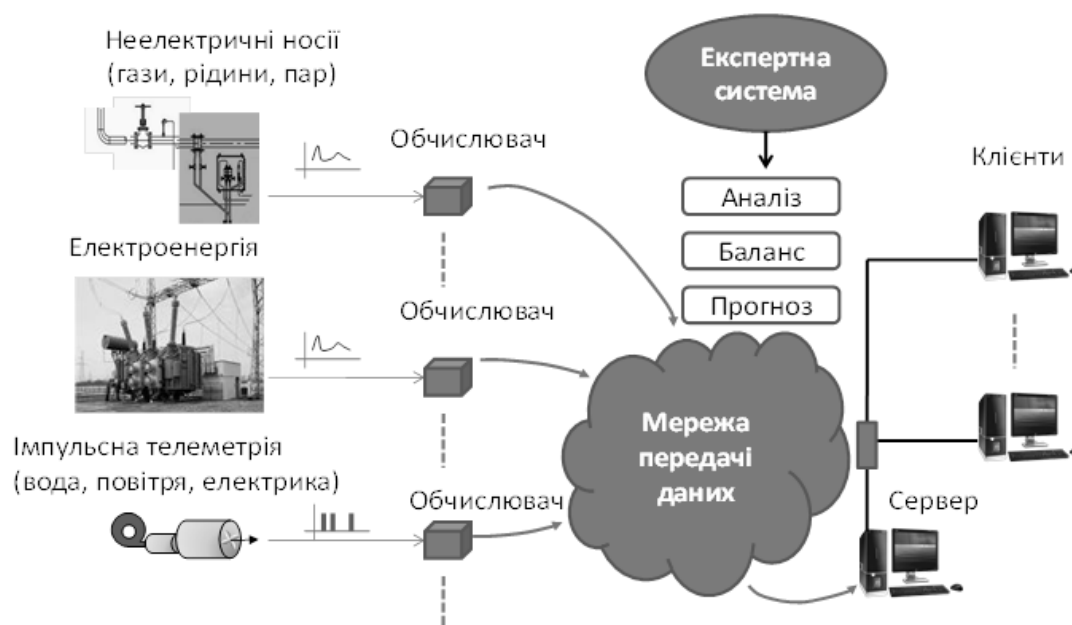


Рис. 1. Узагальнена структурна схема комплексу моніторингу енергетичних потоків

- контролери-концентратори інформації. Концентрують інформацію від груп контролерів-обчислювачів, формують локальні масиви хвилинних даних глибиною до 48 годин, і здійснюють передачу інформації на сервер обліку;
- модулі мережевих адаптерів. Формують розгалужену мережу передачі даних зі складною топологією, адаптованої до структури розміщення джерел інформації в просторі контрольованого підприємства;
- мережа передачі даних. Об'єднує сервер обліку з периферійним обладнанням збору даних;

- програмний комплекс для моніторингу витрат і параметрів електричної енергії та неелектричних енергоносіїв.

Функції збору та обробки первинної інформації можуть здійснюватися різними способами.

1. Безпосереднім перетворенням поточних параметрів та інтегрованих величин витрат енергоносіїв у послідовний код з використанням інтелектуальних лічильників (рис. 2, а).

2. Телеметричним перетворенням поточних параметрів та інтегрованих величин витрат енергоносіїв у послідовний код з використанням інтелектуальних тарифікаторів (рис. 2, б).

3. Параметричним перетворенням поточних параметрів та інтегрованих величин витрат енергоносіїв у послідовний код з використанням інтелектуальних обчислювачів (рис. 2, в).

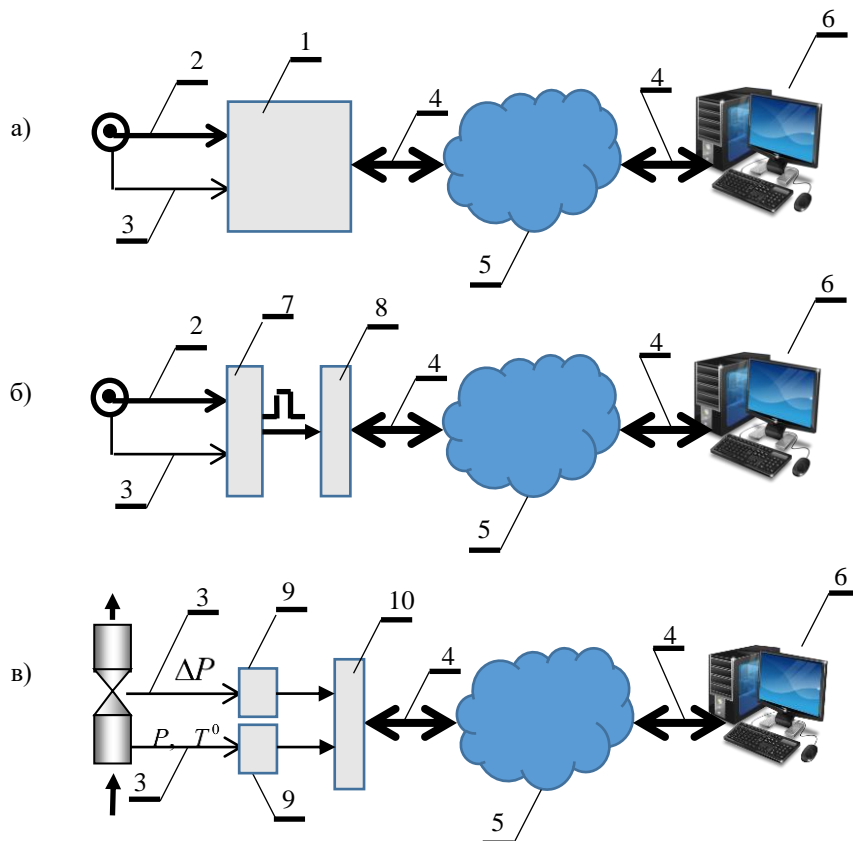


Рис. 2. Перетворення поточних параметрів та інтегрованих величин витрат енергоносіїв у послідовний код в системах моніторингу енергетичних потоків

- 1 – інтелектуальний лічильник, 2 – сигнали відображення інтенсивності енергетичного або матеріального потоку (наприклад, величини електричного струму, або швидкості потоку рідини, газу, пару),  
 3 – сигнали відображення параметрів потоку (наприклад, величини електричної напруги, або тиску, температури, тощо), 4 – послідовний інтерфейс (наприклад, RS-485, PLC, Ethernet, або Wi-Fi, GSM, GPRS, ZigBee), 5 – мережа передачі даних, 6 – сервер моніторингу енергетичних потоків,  
 7 – перетворювач електричної потужності або інтенсивності матеріального потоку у частоту імпульсів,  
 8 – інтелектуальний тарифікатор, 9 – перетворювач неелектричних параметрів матеріальних потоків у електричні сигнали струму 0...5mA, 4...20mA, 10 – обчислювач витрат газу, пару, або рідини

Інтелектуальні лічильники виконують аналого-цифрове перетворення параметрів, якими характеризуються конкретні енергоносії, та обчислюють їх витрати на заданих проміжках часу. Масиви одержаних даних зберігаються у енергонезалежній пам'яті інтелектуальних лічильників. Ці дані періодично, а при необхідності спорадично, передаються на сервер, де вони зберігаються у реляційній базі даних. Так, наприклад, інтелектуальний лічильник електричної енергії обчислює витрату її активної  $W_A$  та реактивної  $W_R$  складових у кожній фазі електричної мережі, керуючись відомими з теоретичної електротехніки співвідношеннями

$$W_A = \frac{T}{N} \sum_{k=1}^{k=N} u(t_k) \cdot i(t_k \pm \tau), \quad (1)$$

$$W_R = \frac{T}{N} \sum_{k=1}^{k=N} u(t_k) \cdot i\left(t_k - \frac{T}{4} \pm \tau\right), \quad (2)$$

де  $u(t_k)$  – цифровий відлік напруги фази у момент часу  $t_k$ ,  $i(t_k \pm \tau)$  – цифровий відлік струму фази у момент часу  $t_k \pm \tau$ , що відрізняється від моменту відліку напруги на малий проміжок  $\tau$  внаслідок неодноразовності вимірів, які виконуються мікропроцесором послідовно,  $T = 20$  мс – період синусоїди промислової частоти,  $N$  – кількість відліків на періоді синусоїди.

Неодноразовність  $|\tau| > 0$  вимірів струму та напруги призводить до похибки обліку електричної енергії [6]. Автоматична компенсація цієї похибки, а також похибок, що зумовлені не лінійністю вимірювального тракту забезпечуються саме інтелектуальними можливостями лічильника [7]. В разі якщо зчитування даних з пам'яті інтелектуальних лічильників електричної енергії здійснюється по силовій мережі, в якій вони виконують вимірювання (PLC-технологія), внаслідок впливу високочастотних сигналів може виникати додаткова похибка обліку, що пов'язана з «підміною частоти – аліасінгом» [8]. Для запобігання цьому негативному явищу в системі моніторингу з використанням PLC-технології необхідно узгоджувати частоту сигналів зчитування даних з кількістю  $N$  відліків сигналу напруги, які виконує процесор лічильника на періоді синусоїди промислової частоти, або підключати лічильник до вимірювальних кіл напруги через фільтр Баттерворта.

У мікроконтролер вбудовано модуль RTS, що підтримує годинник реального часу і календар. На платі концентратора встановлена батарея для модуля RTS. До кожного концентратора по зовнішньому послідовному синхронному каналу може бути підключено до 8 вимірювачів. До інформаційної мережі концентратор підключено через асинхронний послідовний порт з інтерфейсом RS-485. 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 будь-який момент може прочитати ці значення по мережі до якої підключений концентратор.

Через розосередженість металургійних або хімічних підприємств на великих площах, для збору інформації з використанням дротових каналів зв'язку у складі системи передбачена можливість створення інформаційної низькошвидкісної мережі на базі інтерфейсу RS-485 з протоколом ModBus RTU. Особливість такої мережі полягає в тому, що хаотично розосереджені пункти збору первинної інформації в загальному випадку не можуть бути охоплені мережею з магістральною топологією, як того вимагає стандарт інтерфейсу RS-485.

Топологія інформаційних мереж майже всіх металургійних та хімічних підприємств вимагає розгалуженої деревоподібної структури каналів зв'язку. Для вирішення цієї проблеми у складі системи розроблено мережевий магістральний адаптер (ММА). Він при технології обміну інформацією master-slave, забезпечує створення до п'яти відгалужень в кожному вузлі дерева і до трьох рівнів розгалужень на швидкості 4800 біт/с. В результаті система моніторингу може бути побудована з урахуванням топології контрольного об'єкту у вигляді деревоподібної мережі, як показано на рис. 3. В цій системі первинна інформація від вимірювачів зосереджується у Концентраторах, звідки передається до модулів Мережевих адаптерів. До кожного адаптера може бути підключено від одного до п'яти концентраторів, або від одного до п'яти інших адаптерів, або будь яку комбінацію адаптерів та концентраторів у кількості не більше ніж 5 точок підключення. Саме цим досягається можливість побудови деревоподібної розгалуженої мережі збору та перетворення первинної інформації, структура якої максимально відповідає топології контрольного об'єкту.

#### Список літератури

1. Шваб, К. (2016). *Четвертая промышленная революция*. Эксмо, 138 с. [http://www.eurasiancommission.org/ru/act/dmi/workgroup/materials/Pages\\_2016.pdf](http://www.eurasiancommission.org/ru/act/dmi/workgroup/materials/Pages_2016.pdf).
2. *Доклад о мировом развитии 2016: Цифровые дивиденды. Обзор*. Международный банк реконструкции и развития / Всемирный банк. <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/23347/210671RuSum.pdf>
3. Білецький, В.С., Орловський, В.М., Дмитренко, В.І., Похилко, А.М. (2017). *Основи нафтогазової справи*. Запоріжжя: Успіх-Принт, Київ: ФОП Халіков Р. Х.
4. Лір, В., Тімченко, О. (2018). *Цифровий моніторинг як механізм формування енергетичного балансу національного господарства*. Схід №1 (153) січень – лютий 2018 р.
5. *Мониторинг использования энергетических ресурсов как инструмент энергосбережения*. <http://forum.evind.ru/showthread.php>.

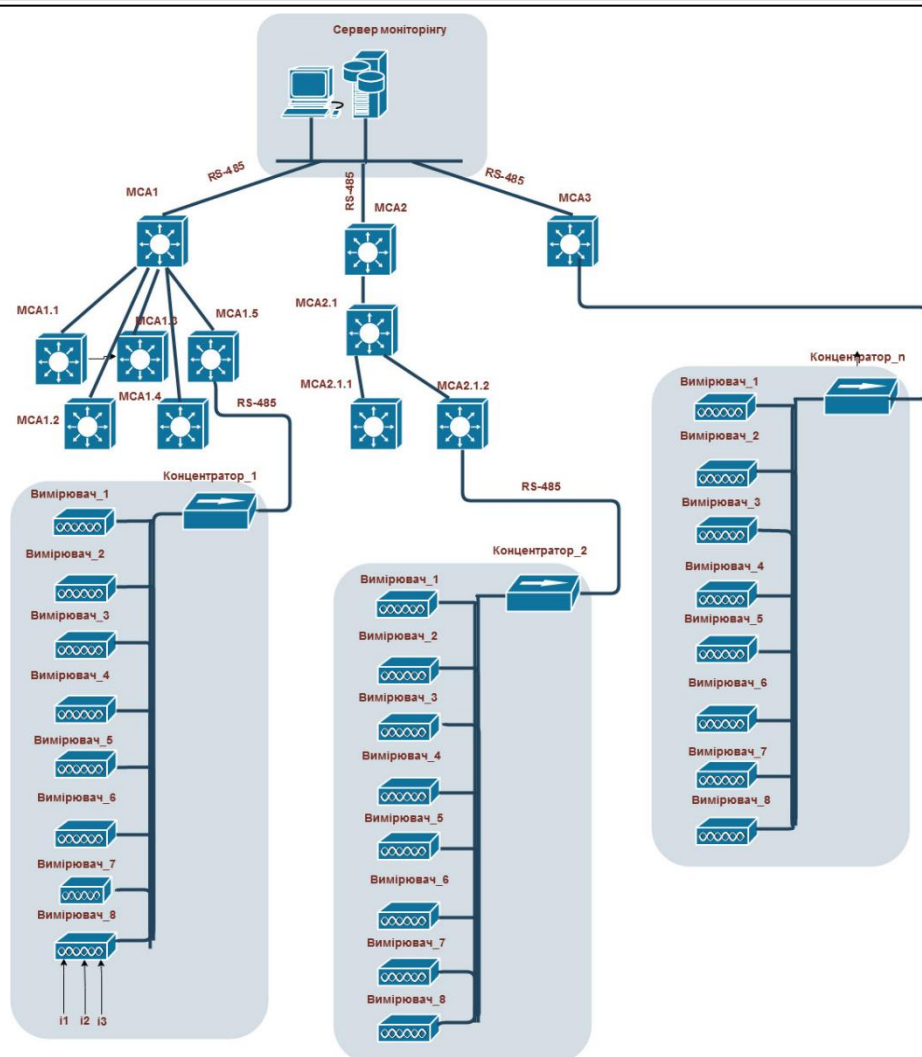


Рис. 3. Структурна схема системи моніторингу неелектричних енергоносіїв

6. 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). 191-196.
7. Кухарчук, В.В., Заславський, О.М. (2012). *Комп'ютеризована система обліку електричної енергії*. Вінниця, ВНТУ.
8. 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*. Дніпро: НТУ «ДП».

**Рекомендовано до друку к-том техн. наук, проф. Івановим О.Б.**

#### АННОТАЦІЯ

**Цель.** Разработка подходов к созданию надежного и экономически целесообразного источника первичной информации, которое обеспечивает возможности в плановом и текущем режиме решать задачи вычисления энергетических балансов в любой детализации, расчете оптимальной структуры производства, закупок и потребления топлива и энергии, оценивать реальные их потери, планировать мероприятия по повышению энергоэффективности и энергосбережения.

**Методика исследования** заключается в создании унифицированной аппаратно-программной базы разветвленной древовидной сети микропроцессорных приборов учета энергоносителей.

**Результаты исследования.** Предложена обобщенная структурная схема комплекса. Для реализации функций мониторинга энергетических потоков комплекс осуществляет автоматический сбор информа-

ции о удельных и текущих расходах электрической энергии, различных газов, паров, сжатого воздуха, воды и других жидкостей, используемых или производятся в технологических процессах.

**Практическое значение.** Представленные данные об инновационном проекте системы энергетического мониторинга, рассмотрены принципы и пример построения системы мониторинга потоков энергии, в том числе, газов, сжатого воздуха, жидкостей, пара, электричества.

**Ключевые слова:** мониторинг, энергетические потоки, материальные потоки, газ, сжатый воздух, жидкость, пар, электричество.

#### ABSTRACT

**Objective.** Development of approaches to creating a reliable and economically viable source of primary information, which provides the ability in a planned and current mode to solve the problems of calculating energy balances in any detail, calculating the optimal structure of production, procurement and consumption of fuel and energy, assess their real losses, plan energy efficiency and energy saving measures.

**The research methodology** consists in creating a unified hardware and software base for a branched tree-like network of microprocessor-based energy meters.

**Findings.** A generalized block diagram of the complex is proposed. To implement the functions of monitoring energy flows, the complex automatically collects information on the specific and current consumption of electrical energy, various gases, vapors, compressed air, water and other liquids used or produced in technological processes.

**Practical meaning.** The presented data on an innovative project of an energy monitoring system, considered the principles and an example of building a system for monitoring energy flows, including gases, compressed air, liquids, steam, electricity.

**Keywords:** monitoring, energy flows, material flows, gas, compressed air, liquid, steam, electricity.