

І.Г. Цмоць, д.т.н., Ю.В. Опотяк, к.т.н. Національний університет «Львівська політехніка», м.Львів

Ю.А. Лукашук, магістр Львівський національний університет імені Івана Франка, м.Львів

БАГАТОРІВНЕВЕ УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЮ ІНЖЕНЕРНИХ МЕРЕЖ БУДИНОК-РАЙОН-МІСТО-ОБЛАСТЬ

Анотація. Розглянуто підходи до розробки систем диспетчеризації, автоматизації та управління процесами в інженерних мережах. Окреслено задачі системи, невирішені актуальні питання підвищення енергоефективності та підходи до практичної побудови нижнього рівня пропонованої системи.

Ключові слова. Енергоефективність, система диспетчеризації, автоматизації та управління, індустріальний інтернет речей, спеціалізований мікроконтролер.

Abstract. The approaches to development of systems of dispatching, automation and control of processes in engineering networks are considered. The tasks of the system, outstanding issues of energy efficiency improvement and approaches to the practical construction of the lower level of the proposed system are outlined.

Keywords. Energy efficiency, dispatching, automation and control system, industrial internet of things, specialized microcontroller.

Вступ. Сьогодні стан інженерних мереж і, відповідно, якісні та кількісні параметри ресурсів, що надаються вітчизняному споживачу є незадовільними. Рівень зношеності мереж складає від 25 до 100 %. Модернізація, що відбувається, носить хаотичний характер, техніко-економічні обґрунтування модернізації мереж не завжди мають обґрунтовані та уніфіковані вимоги, які можна було б застосовувати для побудови універсальних програмно-апаратних комплексів, призначених для комплексного аналізу стану інженерних мереж, розробки можливих заходів та оцінки ефекту від комплексної модернізації засобів та мереж розподілу ресурсів і аналізу окремого споживача ресурсів, як складової частини цілісного комплексу інженерних мереж рівня будинок-район-місто-область. Розглянуто підходи до розробки систем диспетчеризації, автоматизації та управління процесами в інженерних мережах (СДАУ), що дозволила би маючи всі вихідні дані щодо кожної складової інженерних мереж та індивідуальних особливостей споживача на рівні квартира, будинок, кварталні, районні, міські, обласні мережі отримувати та обробляти інформацію про біжучий стан мереж, вироблені та спожиті ресурси у реальному часі.

Основна частина. Зважаючи на те, що найбільші втрати відбуваються на етапі транспортування носіїв від їх виробника до споживача,

диспетчеризація та моніторинг стану транспортних та розподільчих мереж є життєво важливим фактором енергозбереження та, як наслідок, вартості послуг для кінцевого споживача, і повинна бути невід'ємною частиною комплексної СДАУ.

Сучасний стан розвитку телекомунікаційних засобів забезпечує можливість практичної реалізації комплексних багаторівневих систем, що функціонують не тільки на рівні окремого підприємства, а і у межах області, регіону чи держави [1–4]. Створення СДАУ вимагає інтеграції мереж передачі даних, мереж систем безпеки та систем сигналізації, контролю доступу, пожежної безпеки, відеонагляду тощо. СДАУ розглядається як інтегрований багаторівневий програмно-апаратний комплекс для вирішення наступних завдань:

- моніторинг та візуалізація стану інженерних мереж у реальному часі;
- централізоване керування роботою усієї системи, в т.ч. і дистанційне;
- моніторинг якості та кількості ресурсів на етапах генерації, транспортування, споживання кінцевими споживачами;
- моніторинг споживання ресурсів кінцевими споживачами;
- миттєве реагування на аварійні ситуації;
- перерозподіл ресурсів у випадку аварійної ситуації, пов'язаної зі зменшенням надходження ресурсів до споживачів;
- аналіз отриманих даних з метою виявлення потенційно аварійних ситуацій та проведення попереджувальних робіт з метою недопущення аварій;
- планування та проведення вчасних планово-попереджувальних робіт згідно графіка обслуговування обладнання, контроль за планово-попереджувальними та аварійно-відновлювальними роботами;
- виставлення рахунків та контроль за надходженням коштів;
- архівація даних, аналіз, розрахунок ККД системи по кількості затрачених матеріальних та людських ресурсів і порівняння з реальним результатом, планування;
- моніторинг та оперативне управління людськими ресурсами, які задіяні у СДАУ;
- підтримання гарантованого рівня необхідних матеріалів та запасних частин для забезпечення функціонування.

Очевидно, що СДАУ повинна мати багаторівневу архітектуру, у якій окремий рівень виконує окреме функціональне завдання і всі рівні поєднані інформаційно. Така архітектура забезпечує отримання великого масиву даних, що найбільш адекватно описує ситуацію забезпеченості ресурсами у режимі реального часу та підтримує сучасну концепцію Big Data [5]. Основним завданням СДАУ є задоволення потреб кінцевого споживача. Перший рівень СДАУ розглядає споживача ресурсів на рівні багатоповерхового будинку, що містить інформацію та вихідні дані про будинок вже на етапі його проектування – розрахункові навантаження по мережах опалення, холодного і гарячого водопостачання, електроенергії, газу,

кількості мешканців, використаних будівельних матеріали, особливо з точки зору тепловтрат. Вказана інформація дозволить створити математичну модель будинку та інженерних мереж та повинна виконуватися в одній з інжинірингових програм автоматизованого проектування (AutoCAD, ArhiCAD тощо), що є сумісною з основним програмним забезпеченням СДАУ. Відповідні математичні моделі повинні бути розроблені для інженерних мереж рівня квартал-район-місто.

Наступний рівень програмного забезпечення СДАУ повинен надавати можливість оцінки економічного ефекту від впровадження різних енергозберігаючих заходів на рівні багатопверхового будинку, а саме: утеплення будинку; заміна вікон та дверей; заміна або модернізація будинкових інженерних мереж тощо. Так, наприклад, такими заходами для внутрішньобудинкових мереж можуть бути: встановлення індивідуальних тепlopунктів (ІТП) з погодозалежним регулюванням; встановлення індивідуального поквартирного опалення; встановлення будинкової котельні; встановлення системи балансування по стояках, поверхах, квартирах у внутрішньобудинкових системах опалення; промивка системи опалення; заміна труб на сучасні; встановлення термостатичних головок на радіаторах; встановлення сучасних чи заміна насосних станцій холодного і гарячого водопостачання на сучасні.

Практично всі ці завдання можна виконувати за допомогою сучасного програмного забезпечення основних фірм-виробників обладнання та матеріалів для інженерних мереж. Однак, ці програмні засоби повинні бути інтегрованими в основне програмне забезпечення СДАУ для обміну даними з метою оцінки ефекту від провадження з врахуванням всіх супутніх чинників. Наприклад, встановлення будинкової котельні призведе до необхідності подачі більшого обсягу газу, що викличе додаткові витрати на модернізацію газорозподільної мережі та інші супутні витрати.

Програмні компоненти СДАУ, які отримають інформацію щодо ціни основних виробників обладнання та вартості монтажних робіт допоможуть у розробці техніко-економічного обґрунтування для вибору оптимального рішення за співвідношенням якість-ціна-економічний ефект з врахуванням математичної моделі окремого будинку, вартості енергоресурсів та робіт.

Пропонована багаторівнева інтелектуальна СДАУ виробництва, розподілу та споживання ресурсів в інженерних мережах будинок-район-місто-область має наступні рівні:

- 1) Field level – нижній або технологічний рівень – рівень виконавчих механізмів, датчиків та лічильників;
- 2) PLC – польовий рівень, рівень контролерів, що відповідають за роботу рівня Field level та зв'язку з рівнем SCADA;
- 3) SCADA – система спостереження та керування інженерними мережами;
- 4) MES – управління підрозділами на рівні «район-місто»;
- 5) ERP – управління на рівні «область».

Далі слід розглянути основні заходи, що дозволять інтегрувати компоненти інженерних мереж кінцевого споживача на рівні квартира-багатоквартирний будинок. В системі СДАУ – це польовий рівень (Field level) та рівень контролерів (PLC). Оскільки в існуючих інженерних мережах втрати енергоносіїв на рівні квартира-багатоквартирний будинок є чи не найбільшими, ця складова СДАУ зі зростанням тарифів, вартості матеріалів та обслуговування, стає все більш важливою. Нажаль, підвищити рівень енергоефективності теплових мереж старих будинків з централізованим опаленням з так званою «верхньою» або «нижньою» розводками практично неможливо без капітального ремонту та заміни системи опалення на поквартирну, що вимагає величезних коштів, а наслідками такої капітальної заміни мереж тепlopостачання буде капітальний ремонт житлового будинку, що не завжди економічно недоцільне. З іншої сторони, для більш збалансованого та комфортного теплозабезпечення кожної квартири можна виконати балансування керованими клапанами та радіаторними головками системи на рівні стояк-поверх-радіатор, що дозволяє розподілити тепло приблизно в однаковому обсязі по поверххах, а в деяких випадках і на кожен радіатор. Ці заходи є суттєво витратні, але не вимагають капітального ремонту будинку. Однак їх реалізація вимагає впровадження засобів Field level пропонованої СДАУ і можлива з використанням підходів концепції інтернету речей, про що буде згадано нижче.

Основне завдання ІТП – надавати стільки теплової енергії та гарячого водopостачання, скільки потребує споживач. Встановлення ІТП є ефективним у випадку, коли тепло надходить на вхід будинку з більшими параметрами, ніж необхідно. Однак, доцільність встановлення ІТП повинна бути, як і всі інші засоби термомодернізації, обгрунтована техніко-економічно. Досвід термомодернізації інженерних мереж, проведених у Польщі показує значний результат – зменшення споживання енергоносіїв біля 2,5 разів. Однак, таке зниження споживання призвело, в окремих випадках, до виведення частини обладнання внаслідок зменшення навантаження, а у деяких випадках і до заміни на менш продуктивне, що також вимагало додаткових затрат.

Далі розглянемо можливості енергомодернізації інженерних мереж на рівні будинок та інтеграції обладнання в СДАУ. Багатоквартирний будинок централізовано постачається опаленням, холодним та гарячим водopостачанням, електроенергією. Найбільш витратними для споживача є послуги централізованого тепlopостачання. Кабінетом Міністрів України прийняті декілька постанов та доповнень у Державні акти щодо комерційного обліку теплоносіїв. Базовим на сьогодні є закон України «Про комерційний облік теплової енергії та водopостачання» [6], що визначає засади забезпечення комерційного, у тому числі розподільного, обліку послуг з постачання теплової енергії, постачання гарячої води, централізованого водopостачання та забезпечення відповідною обліковою інформацією споживачів таких послуг. Дуже важливим є Наказ Міністерства палива та енергетики України про затвердження «Правил технічної експлуатації

теплових установок і мереж» [7] у якому вказано дві схеми організації комерційного обліку теплової енергії (ТЕ). Наказом встановлюється, що при навантаженні на споживача більш ніж 2,5 МВт (пункт 7.2.33) використовуються схеми комерційного обліку з витратомірами (тепловими лічильниками) на живлючій та зворотній магістралі та при споживанні до 2,5 МВт (пункт 7.2.34) – схеми комерційного обліку з витратоміром (тепловим лічильником) тільки на живлючій магістралі.

Схема при використанні тільки одного лічильника на живлючій магістралі унеможливує проведення якісного комерційного обліку спожитої ТЕ та контролю за станом внутрішньобудинкових теплових мереж. Основний недолік такої системи – облік теплоносія, що подається споживачу і відсутність обліку теплоносія, що повертається до тепломережі. У випадку аварійної ситуації, коли є прорив у підвалах та інших місцях з обмеженим у часі або фізично неможливим доступом, це може призвести до наслідків з великими матеріальними збитками та можливими людськими втратами.

Сьогодні немає розроблених Державних актів та впроваджених технологічних рішень, що гарантують споживачам якість ресурсів. Основні претензії споживачів стосуються якості гарячого водопостачання (ГВП) – недостатня температура та, у випадку тупикової схеми – великий час очікування на отримання води з необхідним рівнем температури. Отже, мережі ГВП повинні бути модернізовані в системи з циркуляційними трубопроводами та встановленням комплексу комерційного обліку, аналогічного вузлу обліку ТЕ з лічильниками ТЕ, встановленими на живлючій та зворотній магістралях, де комерційний облік повинен відбуватись не тільки за об'ємом ГВП, але й за кількістю тепла, що отримав споживач разом з теплою водою.

Однак, загальнобудинкові лічильники не вирішують усіх проблем та завдань комерційного обліку носіїв. Необхідна інтеграції індивідуальних або поквартирних лічильників в загальну мережу СДАУ, що дозволяє керувати роботою всіх інженерних мереж будинку та здійснювати комерційний облік спожитих носіїв на рівні будинок-квартира. За допомогою мережевого обладнання та відповідного програмного забезпечення досить легко їх об'єднати у мережі, що дозволяють отримати картину стану роботи теплових мереж у реальному часі.

Окреслені вище проблеми, що необхідно вирішувати при створенні СДАУ для ефективного її застосування, демонструють необхідність звернути увагу на розробку засобів Field level технологічного рівня СДАУ, що відповідає за взаємодію з датчиками, лічильниками та виконавчими механізмами. Застосування засобів обробки даних безпосередньо біля датчиків і виконавчих механізмів, накладає жорсткі обмеження на масогабаритні характеристики таких засобів. Одночасно до таких засобів висуваються жорсткі вимоги до споживаної потужності, форматів даних і команд, ємності пам'яті та інтерфейсів зв'язку між компонентами системи. Крім того, на нижньому рівні СДАУ використовуються сотні і тисячі датчиків

та виконавчих механізмів, що диктує необхідність розробки засобів з низькою вартістю, масогабаритними характеристиками та енергоспоживанням і широкими комунікаційними можливостями. Вказаним вимогам до побудови таких засобів відповідає сучасна концепція інтернету речей (Internet of Things, IoT) [8]. Це система об'єднаних комп'ютерних мереж і підключених фізичних об'єктів з вбудованими датчиками для збору та обміну даними у межах глобальної інформаційної інфраструктури. Розвитком концепції інтернету речей є індустріальний інтернет речей (Industrial Internet of Things, IIoT) – система об'єднаних комп'ютерних мереж і підключених промислових (виробничих) об'єктів з датчиками для забезпечення збору параметрів технологічних процесів та обміну даними, з можливістю віддаленого контролю і управління в автоматизованому режимі. Принцип роботи технології полягає в наступному: спочатку встановлюються датчики, виконавчі механізми, контролери та людино-машинні інтерфейси на ключові частини обладнання, далі – здійснюється збір інформації, яка згодом дозволяє отримати об'єктивні і точні дані про стан підприємства. Дані надходять в усі підрозділи підприємства, а при необхідності, у централізовані хмарні сховища, що допомагає налагодити взаємодію підрозділів і приймати обґрунтовані рішення на основі концепції Big Data. Застосування IoT в промисловій індустрії та на транспорті скорочує витрати внаслідок зниження аварійності, зменшення втрат сировини і кількості використаних ресурсів, підвищує ефективність їх вироблення і розподілу.

Необхідність встановлення десятків і сотень засобів збору інформації з датчиків диктує використання виключно безпроводових технологій передачі даних. У більшості застосувань використання безпроводових мереж дозволяє досягти низки переваг в порівнянні з проводовими мережами: знизити вартість установки компонентів; виключити необхідність використання і профілактичного обслуговування кабелів; зменшити трудовитрати на монтаж і обслуговування системи; забезпечити зручну модернізацію [9]. Найбільш поширені сьогодні технології – Wi-Fi, Bluetooth і ZigBee, фізичні рівні передачі даних цих мереж засновані на відповідних стандартах IEEE.

При виборі технології необхідно враховувати наступні фактори: обсяг даних для передачі; дистанція зв'язку, що задає споживану потужність; час відгуку; надійність зв'язку, вплив перешкод; кількість вузлів мережі. Серед реально застосовуваних систем сьогодні є і засоби передачі даних на основі стільникових мереж (GSM/GPRS, UMTS, CDMA2000, LTE) та канали спеціалізованих систем передачі (діапазон 434/868МГц, 1-2ГГц). Останнім часом набувають поширення удосконалені технології безпроводової передачі, орієнтовані на застосування при побудові засобів інтернету речей, серед яких – технологія LoRa, що призначена для мереж дальнього радіусу дії, з метою передачі даних телеметрії приладів обліку (датчиків води, газу тощо). LoRa – метод модуляції, який визначає протокол фізичного рівня моделі OSI. Технологія модуляція LoRa може застосовуватися в мережах з різною топологією і різними протоколами каналного рівня. Ефективним її

застосуванням є мережі LoRaWAN, які використовують протокол каналного рівня LoRaWAN (MAC протокол каналного рівня), а в якості протоколу фізичного рівня – модуляцію LoRa.

Для передачі даних з застосуванням безпроводових технологій необхідний спеціалізований радіомодем для перетворення і модуляції-демодуляції сигналу, а для підтримки протоколів старших рівнів моделі OSI продуктивності звичайного процесора вже буде недостатньо внаслідок складних обчислень. Отже, необхідне застосування спеціалізованих мікроконтролерів. Вказані спеціалізовані мікроконтролери малої продуктивності мають вбудовані засоби для функціонування у безпроводових мережах і містять на одному чіпі достатньо потужний процесор, периферію та вбудований радіомодем і додаткові кола, що забезпечує повну підтримку всіх функцій протоколу Wi-Fi. Мікроконтролери з вбудованими засобами для функціонування у мережах Wi-Fi сьогодні виробляються фірмами Nufont Co., Ltd (NL6621), Realtek Semiconductor Corp. (RTL8710) та Espressif Systems Ltd (ESP8266, ESP32). Всі розглянуті мікроконтролери, доступні на вітчизняному ринку у вигляді промислових модулів, що забезпечує скорочення до мінімуму термінів розробки системи і швидку адаптацію до різноманітних умов застосування та забезпечення належної якості реалізації апаратних засобів.

Висновки. Розробку системи диспетчеризації, автоматизації та управління процесами в інженерних мережах слід реалізовувати у вигляді інтегрованого багаторівневого програмно-апаратного комплексу для комплексного вирішення завдань енергоефективності.

Пропонована система диспетчеризації, автоматизації та управління орієнтована на створення єдиного інформаційного простору з достовірною, повною та оперативною інформацією у реальному часі для аналізу і прогнозування процесів енергоефективності на кожному рівні управління.

Компоненти нижнього рівня повинні забезпечувати отримання опрацювання даних з датчиків у реальному часі враховуючи обмеження щодо габаритів, енергоспоживання та вартості.

Реалізацію вказаних компонентів нижнього рівня пропонованої системи слід здійснювати з використанням концепції інтернету речей та відповідних апаратних та програмних засобів, які її реалізують на основі безпроводових систем. Сучасні спеціалізовані мікроконтролери забезпечують можливість практичної реалізації вказаного рівня пропонованої системи з заданими показниками обмеження щодо габаритів, вартості та енергоспоживання.

1. Медиковський М.О., Цмоць І.Г., Подольський М.Р. Обґрунтування принципів побудови та розроблення узагальненої структури інформаційно-аналітичної системи для оцінювання, прогнозування та управління енергоефективністю економіки регіону // Вісник НУ “Львівська політехніка” “Комп’ютерні науки та інформаційні технології”, № 751. – Львів, 2013. – С. 40-51.

2. Taras Teslyuk, Ivan Tsmots, Vasyl Teslyuk, Mykola Medykovsky and Yuriy Opotyak

Architecture and Models for System-Level Computer-Aided Design of the Management System of Energy Efficiency of Technological Processes at the Enterprise // *Advances in Intelligent Systems and Computing*, Springer International Publishing AG. – 2017. – Volume 689. – P. 538-558.

3. Медиковський М.О., Цмоць І.Г., Цимбал Ю.В. Інформаційно-аналітична система для управління енергоефективністю підприємств Львова // Науковий економічний журнал "Актуальні проблеми економіки". – №1(175)2014. – Київ, 2016. – С.379-384.

4. Інтелектуальні компоненти інтегрованих автоматизованих систем управління: монографія / Медиковський М.О., Ткаченко Р.О., Цмоць І.Г., Цимбал Ю.В., Дорошенко А.В., Скорохода О.В. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2015. – 280 с.

5. Big Data for Data Warehousing [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.tcs.com/SiteCollectionDocuments/White-Papers/BFS-Whitepaper-Big-Data-Warehousing-0313-1.pdf>

6. Закон України «Про комерційний облік теплової енергії та водопостачання» / Відомості Верховної Ради (ВВР), 2017, № 34, ст.370.

7. Наказ Міністерства палива та енергетики України від 14.02. 2007 № 71 про затвердження «Правил технічної експлуатації теплових установок і мереж» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0197-07>

8. The Internet of Things: A survey Luigi Atzoria, Antonio Ierab, Giacomo Morabitoc // *Computer Networks*. – Volume 54, Issue 15, October 2010. – PP.2787-2805

9. Т. Теслюк, І. Цмоць, В. Теслюк, М. Медиковський, Ю. Опотяк Architecture of the management system of energy efficiency of technological processes at the enterprise // Матеріали XII Міжнародної науково-технічної конференції "Комп'ютерні науки та інформаційні технології CSIT 2017", Львів, Україна, 05.09.2017 – 09.09.2017. – Том. 1. Львів: Вежа і Ко, 2017 – С. 429-433.

Поступила 31.01.2018р.

УДК 623.746. – 519

М.В. Коробчинський, Київ

ОБГРУНТУВАННЯ УЗАГАЛЬНЮЮЧИХ ПАРАМЕТРІВ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УПРАВЛІННЯ ГРУПОЮ БЕЗПЛОТНИМИ ЛІТАЛЬНИМИ АПАРАТАМИ

The article substantiates the generalization parameters (UP-parameters) of the information management system of a group of unmanned aerial vehicles (UAVs). In the future, this approach allows us to solve the problem of developing heuristic methods for constructing dependencies between individual parameters, which will be based on the declaration of those or other links with their further testing on computer models.

Keywords: unmanned aerial vehicles, generalizing parameters (UP-parameters), distributed dynamic control system, process of problem solving.