

УДК 658.26:504.064.36

Л.В. Давиденко, канд. техн. наук, В.А. Давиденко, канд. техн. наук
Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна,
E-mail: L.Davydenko@mail.ru

Побудова інформаційного простору моніторингу ефективності енергоспоживання в системах комунального водопостачання

Визначено, що першим етапом моніторингу ефективності енергоспоживання є формування його інформаційного простору. Виконано формалізований опис суб'єктів моніторингу за допомогою сукупності атрибутів, які враховують їх функціональні особливості та рівень ієрархії водопостачальної системи. Розглянуто принципи об'єднання функціональних елементів-сутностей інформаційного простору та вхідних і вихідних даних предметної області. Запропоновано спосіб консолідації даних про суб'єкти моніторингу в єдиній інформаційній системі.

ефективність енергоспоживання, моніторинг, система комунального водопостачання

Л.В. Давыденко, канд. техн. наук, В.А. Давыденко, канд. техн. наук
Луцкий национальный технический университет, г.Луцк, Украина

Построение информационного пространства для мониторинга эффективности энергопотребления в системах коммунального водоснабжения

Определено, что первым этапом мониторинга эффективности энергопотребления является формирование его информационного пространства. Выполнено формализованное описание объектов мониторинга с помощью совокупности атрибутов, которые учитывают их функциональные особенности и уровень иерархии системы водоснабжения. Рассмотрены принципы объединения функциональных элементов-сущностей информационного пространства, входных и выходных данных предметной области. Предложен способ консолидации данных мониторинга в единой информационной системе.

эффективность энергопотребления, мониторинг, система коммунального водоснабжения

Постановка проблеми. Однією з важливих складових процесу управління енергозбереженням та підвищення енергоефективності суспільного господарства є здійснення систематичного контролю за рівнем ефективності використання палива та енергії. Обліку та контролю споживання енергоресурсів на підприємствах приділяється багато уваги, тому питання побудови систем моніторингу технологічних процесів та обліку енергоспоживання в різних сферах не втрачають своєї актуальності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Моніторинг трактують як систему заходів спостереження та контролювання, що проводяться для оцінювання стану об'єкту дослідження, аналізу процесів, що відбуваються, та своєчасного виявлення тенденцій його зміни. Раціональне управління енергогосподарством підприємства вимагає впровадження системи моніторингу показників енергоефективності окремих агрегатів, установок, виробничих процесів та підприємства в цілому [1]. Моніторинг енергоефективності виробничої системи повинен забезпечити визначення її стану та ефективності провадження технологічного процесу, створити передумови для удосконалення та підвищення якості функціонування системи та її складових, стати основою для розробки та реалізації методів керування та планування ефективного режиму роботи [2]. Основним принципом організації системи моніторингу є

безперервність пооб'єктного контролю та облік інформації для забезпечення контролю енергоспоживання та прийняття рішень щодо першочерговості впровадження заходів з енергозбереження, вирішення завдань енергетичного менеджменту. Це є інформаційно-управлінська система, яка на основі аналізу енергоспоживання покликана видавати енергоменеджеру повідомлення, що сприяють прийняттю управлінських рішень щодо підвищення енергоефективності. Моніторинг є одним з елементів системи управління енергоспоживанням, особливості якої (цілі, завдання, об'єкти) зумовлюють додаткові вимоги до способу виконання моніторингу та системи показників енергоефективності. Створення інформаційного простору моніторингу ефективності енергоспоживання з урахуванням ієрархічності та багатооб'єктності підприємства є важливим завданням.

Постановка завдання. Під час проведення моніторингу виникає необхідність одержання інформації, репрезентативної щодо різних об'єктів, тому першим етапом моніторингу ефективності енергоспоживання в складних виробничих системах є:

- визначення меж моніторингу: агрегат, структурний елемент, технологічний процес, ієрархічний рівень, виробництво, підприємство;
- формування сукупності показників енергоефективності залежно від меж моніторингу та постановки задачі дослідження, які б відображали ефективність вихідного стану та особливості функціонування об'єкту [3];
- організація є процедур систематичного збору інформації щодо показників енергоефективності з урахуванням їх приналежності до об'єкту.

Виклад основного матеріалу. Моніторинг енергоефективності – одна з функцій енергетичного менеджменту, заснована на зборі інформації про об'єкт дослідження та спрямована на дотримання режимів енергоспоживання, встановлених значень енергетичних показників та виконання запланованих заходів. Це комплекс заходів для реалізації основних функцій: спостереження, оцінювання стану об'єкту, прогнозування та контролювання, конкретизованих специфікою об'єкту дослідження та поставленими задачами. Це певним чином організований інструмент інформаційного забезпечення управління енергоспоживанням для контролювання, оцінювання, аналізування і прогнозування стану об'єкта управління на основі безперервного процесу збору, обробки, відображення інформації про енергоспоживання об'єкту дослідження та його показники енергоефективності.

Система комунального водопостачання (СКВ) складається з великої кількості елементів, що споживають певні види енергії для реалізації технологічного процесу, характеризуються певними вихідними умовами, знаходяться на різних ієрархічних рівнях і мають свої особливості функціонування. Це є складна динамічна система із чітко впорядкованою ієрархічною структурою, розгалуженою мережею взаємозв'язків між її елементами, яка розвивається в просторі та часі. Діяльність складної виробничої системи визначається технологічними процесами, які реалізують її суб'єкти відповідно до цільової спрямованості в рамках предметної області. Кожен суб'єкт має процедури-алгоритми розрахунку, результати яких використовуються в алгоритмах суб'єктів вищого ієрархічного рівня. Після завершення процедур управління та удосконалення відповідних технологічних процесів відбувається зміна стану предметної області, тобто підвищення рівня енергоефективності об'єкту дослідження. У цілому модель функціонування суб'єктів моніторингу ефективності енергоспоживання може бути представлена як сукупність таких компонентів: моделі об'єктів, що беруть участь в структурних зв'язках; моделі параметрів, що визначають результати функціонування суб'єктів; моделюючих алгоритмів, що встановлюють правила функціонування об'єктів і зміни значень їх параметрів. Така модель є динамічною і відображає не лише поточний стан об'єктів, але й зміну їх стану в часі.

У загальному розумінні процес водопостачання є процесом трансформації електроенергії електромеханічними засобами СКВ. Формально, це відображення [4]:

$$\Omega_B \xrightarrow{F_{BE}} \Omega_E, \quad (1)$$

де Ω_B – множина моделей об'єктів водопостачання;

Ω_E – множина моделей енергоспоживання;

F_{BE} – функціональне відображення моделей.

Множину моделей об'єктів водопостачання з їх зв'язками, що досліджуються, можна представити як ізоморфізм Ω_B на деяку абстрактну множину Ψ_σ :

$$\Psi_\sigma = \langle \{M_\sigma\}, P_1, P_2, \dots, P_n \rangle, \quad (2)$$

де $\{M_\sigma\}$ - множина моделей структурних елементів СКВ;

P_1, P_2, \dots, P_n - предикати, що відображають наявність зв'язків між елементами.

Аналогічно, множину моделей енергоспоживання можна представити як ізоморфізм Ω_E на деяку абстрактну множину Ψ_e , яку задають кортежем:

$$\Psi_e = \langle \{M_e\}, P_1, P_2, \dots, P_n \rangle, \quad (3)$$

де $\{M_e\}$ - множина моделей електроспоживання структурних елементів СКВ;

З позицій вирішення задач декомпозиції, аналізу та синтезу [5], тобто перетворення $\Psi_\sigma \rightarrow \Psi_e$ між двома моделями, які відображають процес водопостачання (Ψ_σ) та електроспоживання (Ψ_e), система комунального водопостачання як об'єкт енергоспоживання може бути представлена у вигляді кортежу:

$$S = \langle \Psi_\sigma, \Psi_e, P_0(\Psi_\sigma, \Psi_e) \rangle. \quad (4)$$

Для спрощення, систему розглядають як «чорний ящик». Тоді підмоделі Ψ_σ та Ψ_e представимо як кортеж вхідних параметрів, відповідно, водопостачання x_σ та електроспоживання x_e , аналогічно, вихідних сигналів y_σ та y_e , зміни її стану z_σ та z_e :

$$\Psi_\sigma = \langle x_\sigma, y_\sigma, z_\sigma \rangle; \quad (5)$$

$$\Psi_e = \langle y_\sigma, x_e, y_e, z_e \rangle. \quad (6)$$

При спрощеному дослідженні СКВ як об'єкта енергоспоживання підмоделі Ψ_σ доцільно представити у вигляді усереднених характеристик процесу водопостачання: в якості вхідних сигналів: сумарної номінальної продуктивності $Q_{ном.}$ насосних станцій (НС), загальної кількості насосних агрегатів (НА) $N_{вст.}$, середнього тиску в мережі $H_{сер.}$, тощо; в якості вихідних сигналів: сумарних об'ємів води $Q_{перек.}$, що перекачані НС, сумарних втрат в мережі $Q_{втр.}$, витрат на власні потреби $Q_{вл.потр.}$ тощо. Підмодель Ψ_e при такому розгляді може містити кортеж енергетичних показників: в якості вхідних енергетичних характеристик: сумарної встановленої потужності обладнання $P_{вст.}$, кількості працюючого обладнання $N_{пр.}$, число годин роботи основного технологічного обладнання $T_{роб.}$; в якості вихідних сигналів: сумарного фактичного електроспоживання $W_{спож.}$, фактичного питомого електроспоживання $w_{факт.}$ тощо.

Таким чином система комунального водопостачання є кортежем:

$$S = \left\langle \begin{array}{l} \langle Q_{ном}, N_{вст}, H_{сер}, Q_{перек}, Q_{втр}, Q_{вл.потр}, z_e \rangle, \\ \langle P_{вст}, N_{пр}, T_{роб}, W_{спож}, w_{факт}, z_e \rangle, \\ P_0 \left(\begin{array}{l} \langle Q_{ном}, N_{вст}, H_{сер}, Q_{перек}, Q_{втр}, Q_{вл.потр}, z_e \rangle, \\ \langle P_{вст}, N_{вст}, T_{роб}, W_{спож}, w_{факт}, z_e \rangle \end{array} \right) \end{array} \right\rangle. \quad (7)$$

Окремий ієрархічний рівень СКВ теж доцільно розглядати як складну систему з точки зору наявності достатньо великої кількості структурних елементів, між якими існують певні технологічні зв'язки та які об'єднані єдиною метою функціонування.

Так під час дослідженні СКВ на рівні другого підйому підмодель Ψ_e доцільно представити через характеристики процесу водоподачі для даного рівня: в якості вхідних сигналів: номінальної продуктивності $Q_{ном.i}$ та кількості $N_{вст.i}$ НА кожної НС, сумарної номінальної продуктивності $Q_{\Sigma ном}$ та загальної кількості $N_{вст}$ НА, середнього тиску в мережі $H_{сер}$, тиску в трубопроводі кожної НС $H_{сер.i}$ тощо; в якості вихідних сигналів: сумарних об'ємів води $Q_{перек}$, що перекачані НС, об'ємів води $Q_{перек.i}$, що перекачані кожною НС, коефіцієнтів завантаження НА $K_{зав}$, витрат на власні потреби $Q_{вл.потр}$ тощо. Підмодель Ψ_e може містити кортеж енергетичних показників: в якості вхідних енергетичних характеристик: встановленої потужності двигуна НА $P_{вст.i}$, кількості працюючого обладнання $N_{пр.i}$ та число годин роботи НА $T_{роб.i}$ кожної НС, сумарної встановленої потужності обладнання $P_{вст}$, кількості працюючого обладнання $N_{пр}$, число годин роботи основного технологічного обладнання $T_{роб}$ НС; в якості вихідних сигналів: сумарного електроспоживання $W_{спож}$, електроспоживання кожної НС $W_{спож.i}$, фактичного питомого електроспоживання рівня $w_{факт}$ та кожної НС $w_{факт.i}$ тощо. При чому доцільним є урахування зміни режиму роботи структурних елементів ієрархічного рівня в результаті дії зовнішніх та управляючих сигналів. Отже, ієрархічний рівень другого підйому як складна система є кортежем:

$$S = \left\langle \begin{array}{l} \langle Q_{ном_i}, Q_{\Sigma ном}, N_{вст_i}, N_{вст}, H_{сер_i}, H_{сер}, Q_{перек_i}, Q_{перек}, K_{зав}, Q_{вл.потр}, z_e \rangle, \\ \langle P_{вст_i}, P_{вст}, \eta_i, N_{пр_i}, N_{пр}, T_{роб_i}, T_{роб}, W_{спож_i}, w_{факт_i}, w_{факт}, z_e \rangle, \\ P_0 \left(\begin{array}{l} \langle Q_{ном_i}, Q_{\Sigma ном}, N_{вст_i}, N_{вст}, H_{сер_i}, H_{сер}, Q_{перек_i}, Q_{перек}, K_{зав}, Q_{вл.потр}, z_e \rangle, \\ \langle P_{вст_i}, P_{вст}, \eta_i, N_{пр_i}, N_{пр}, T_{роб_i}, T_{роб}, W_{спож_i}, w_{факт_i}, w_{факт}, z_e \rangle \end{array} \right) \end{array} \right\rangle. \quad (8)$$

Для опису об'єктів нижчого рівня необхідним є детальне урахування їх технічних характеристик, зокрема, паспортних даних агрегатів, а також параметрів, що визначаються особливостями функціонування відповідних структурних елементів. Для водозабірних споруд такими параметрами є [3]: рівень води у водоймищі та водоприймальному колодязі, витрата води від кожної водозабірної споруди, тиск в напірному трубопроводі, перепад рівнів на сітках, які обертаються. Для насосних станцій: тиск в напірному трубопроводі, тиск в насосному агрегаті, витрата води по кожному напірному водоводу. Для станцій очищення та підготування води: витрата початкової води, каламутність початкової води, рівень рН початкової та обробленої води, тиск у повітродувних та компресорних установках, витрата води, що проходить через кожен освітлювач, втрати тиску у фільтрі, витрата води на промивання тощо.

Інформаційним простором моніторингу ефективності енергоспоживання в СКВ є спеціальним чином організована сукупність атрибутів (показників) її складових, які разом з кількісними та якісними значеннями (параметрами цих атрибутів) дозволяють відрізнити один суб'єкт від іншого. Побудова інформаційного простору передбачає формалізований опис суб'єктів за допомогою комплексу властивих для них якісних та кількісних показників шляхом використання певних прийомів опису [6].

Множина об'єктів предметної області інформаційного простору складається з множини процесів та множини їх компонентів. Будь-якому виду об'єкту відповідає певний набір властивостей – характеристик. В динаміці значення деяких характеристик змінюються й на кожний дискретний момент часу характеризують його стан. Множину властивостей об'єктів складає множина характеристик процесів та їх компонентів. Характеристиками процесів є часові та кількісні характеристики та ідентифікатори. Характеристиками компонентів процесів є ідентифікатори, технічні та експлуатаційні характеристики. Множиною відносин між об'єктами є структурні, функціональні та прагматичні відносини. Останні є елементом алгоритму інформаційного пошуку, вказують послідовність вибірки інформації для відповіді на запит користувача.

До об'єктів інформаційного простору віднесено суб'єкти предметної області, до яких застосовуються управлінські впливи з метою забезпечення їх ефективного функціонування та між якими проводиться обмін вхідними і вихідними даними. Суб'єктом предметної області є один з структуроутворюючих елементів, виділених за функціональною ознакою (насосний агрегат, насосна станція, ієрархічний рівень тощо), та однозначно описаний переліком параметрів, які відтворюють систему кількісних показників його вихідного стану, а також можуть бути використані для характеристики ефективності його функціонування. Кожен суб'єкт класифікується згідно з його типом (різновидом), ідентифікується переліком власних властивостей, а також має перелік суб'єктів, з яких він складається або входить згідно визначеної підпорядкованості та з якими встановлені відносини. Функціональний стан суб'єкта визначається переліком параметрів, які відтворюють кількісні показники його функціонування. Ці параметри класифікуються відповідно за їх типом, який передбачає різновид показника діяльності. Для кожного параметра встановлюється його приналежність до певного суб'єкта, поведінку якого він характеризує та чийм показником функціонування він є. Залежно від функціонального взаємозв'язку суб'єктів додатково визначаються інші суб'єкти, що мають відношення до даного параметру. В результаті для параметра встановлюється приналежність до первинного об'єкту, а також уточнюється його приналежність до інших об'єктів, які відображають особливості їх спільного функціонування. Кожен суб'єкт предметної області може бути однозначно описаним за допомогою системи кількісних та якісних показників, що й представляє собою її інформаційний простір моніторингу. Враховуючи постановку задачі моніторингу енергоефективності СКВ, кількісними атрибутами-характеристиками є технічні та технологічні параметри, енергетичні характеристики та показники енергоефективності об'єктів, які описують ефективність вихідного стану та організації режиму роботи об'єкту моніторингу.

Для аналізу енергоефективності необхідно використовувати багаторівневу систему показників, яка б забезпечувала можливість аналізування ефективності енерговикористання на різних ієрархічних рівнях СКВ; кількісної оцінки параметрів стану та вихідних умов функціонування; розкриття закономірностей використання енергії; контролювання енергоспоживання та дотримання оптимальних параметрів технологічного процесу; була основою для прогнозування електроспоживання. Перевагу слід надавати системі показників енергоефективності, яка всебічно

відображатиме [3] технічний стан, рівень енергоспоживання та ефективність організації технологічного процесу в СКВ, ієрархічного рівня та кожного структурного елемента.

До складу функціональних елементів-сутностей інформаційного простору моніторингу ефективності енергоспоживання входять: схеми, правила, алгоритми, варіанти розрахунків; результати виконання та контролю розрахунків; форми підготовки звітних документів. У результаті, всі вхідні і вихідні дані предметної області мають бути представлені у вигляді інформаційних блоків [6]:

- блок даних про об'єкти: призначений для опису стану суб'єктів; містить інформацію про суб'єкти процесу моніторингу ефективності енерговикористання;
- блок даних про параметри об'єктів: призначений для опису показників, що характеризуються наборами кількісних значень та відображають стан суб'єктів;
- блок даних про алгоритми розрахунків: призначений для опису схем розрахунків для формування значень розрахункових параметрів об'єктів - показників енергоефективності при виконанні розрахунків за різними методиками залежно від задачі моніторингу та ієрархічної приналежності об'єкта;
- блок даних про результати розрахунків: призначений для опису варіантів розрахунків для об'єктів предметної області і накопичення отриманих даних з метою подальшого їх використання при формуванні звітних документів;
- блок даних про форми звітних документів: призначений для підготовки і формування стандартних вихідних форм документів з результатами розрахунків.

Особливість формування інформаційного простору для моніторингу ефективності енергоспоживання водопостачальної системи зумовлена територіальною розгалуженістю та ієрархічною будовою самої системи - це наявність великої кількості різних потоків інформації про енергоспоживання, вихідний стан та режими роботи агрегатів, технологічних установок, структурних елементів тощо, що відображається через показники енергоефективності та параметри режиму.

Необхідною умовою забезпечення ефективної роботи складної виробничої системи є автоматизація процесу збору даних про параметри режимів роботи кожного з її структурних елементів та системи в цілому. Наявність автоматизованих систем управління спрощує збір та обробку інформації по кожному із суб'єктів предметної області. Їх підключення до мережі INTERNET забезпечить зв'язок між контрольними пунктами суб'єктів управління та центральним сервером підприємства, що дозволить здійснити консолідацію даних в єдиній системі. Для реалізації моніторингу ефективності енергоспоживання в СКВ на центральному сервері необхідно інсталиувати WEB-service (WS) Vodokanal, що дозволить в режимі реального часу здійснювати виконання процедур оброблення вихідної інформації, необхідної для аналізу ефективності енергоспоживання в системі та її об'єктів, створення баз даних, формування звітів, а також видачі керуючих впливів. Окрема увага повинна бути приділена моніторингу чинників зовнішнього середовища функціонування СКВ, що впливають на ефективність режиму енергоспоживання. Одним з таких чинників є водоспоживання. Організація режиму водопостачання повинна максимально близько відповідати режиму водоспоживання. WS Vodokanal повинен містити блок оброблення зовнішньої інформації щодо потреб споживачів у воді залежно від певних умов – технічних, соціальних, кліматичних. Інформація, накопичена в базах даних системи, є запорукою ефективного вирішення задач енергоменеджменту та підтримки ухвалення рішень по управлінню технологічним процесом та підвищенню енергоефективності.

Висновки. Процедура формування інформаційного простору моніторингу ефективності енергоспоживання повинна враховувати розгалужену ієрархічну структуру водопостачальної системи, зв'язки між технологічними процесами та їх

складовими, вплив зовнішнього середовища. Розподіл показників енергоефективності згідно ієрархічної приналежності суб'єктів предметної області забезпечує можливість отримання необхідної інформації згідно меж моніторингу. Безперервне фіксування значень параметрів режиму роботи, енергоспоживання, показників енергоефективності забезпечує формування статистичної бази даних, виявлення точок і меж зон підвищеного енергоспоживання, об'єктів, які потребують аналізу та оптимізації технологічного процесу, дозволяє відслідковувати часову еволюцію явищ (добові, сезонні, річні), оцінювати взаємну залежність контрольованих величин. Реалізація передачі інформаційних потоків між об'єктами предметної області та центральним сервером підприємства на базі Web-орієнтованих систем дозволить створити єдиний інформаційний простір та забезпечити можливість обробки інформації про параметри режимів та показники енергоефективності структурних елементів та системи водопостачання в цілому, видачі енергоменеджеру інформації в режимі реального часу, що сприятиме прийняттю дієвих управлінських рішень щодо впровадження заходів з енергозбереження та підвищення рівня енергоефективності.

Список літератури

1. Троицкий-Марков Т.Е., Сенновский Д.В. Принципы построения системы мониторинга энергоэффективности / Т.Е. Троицкий-Марков, Д.В. Сенновский // Мониторинг. Наука и безопасность. – 2011. – № 4. – С. 34-39.
2. Давиденко Л.В. Функции энергетического мониторинга сложных производственных систем та їх завдання для підвищення рівня енергоефективності / Л.В. Давиденко, В.А. Давиденко, Н.В. Коменда, Н.В. Ярмольська // Вісник ХНТУСГ. Технічні науки. Випуск 153 „Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України”. – Харків: ХНТУСГ, 2014. – С.125-127.
3. Розен В.П. Формування інформаційного поля для оцінювання рівня енергоефективності систем комунального водопостачання / В.П. Розен, Л.В. Давиденко, В.А. Давиденко // Вісник КДПУ ім. М. Остроградського. – Кременчук: КДПУ. – 2010. – Вип. №4 (63). – С. 50-53..
4. Анпілогов П.І. Принципи створення автоматизованої системи експертної оцінки тарифів на послуги водопостачання та водовідведення / П.І. Анпілогов, В.М. Михайленко // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2008. - №3. – С. 44-51.
5. Анфилатов В.С. Системный анализ в управлении / Анфилатов В.С., Смельянов А.А., Кукушкин А.А.; Под ред. А.А. Смельянова. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 268 с.
6. Борукаев З.Х. Компьютерная модель мониторинга энергоэффективности: аспекты информационного моделирования / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, Л.И. Грицюк // Энергетика та електрифікація. – 2007. – №1. – С.3-7.

Liudmyla Davydenko, Ph.D. tech. sci. , Volodymyr Davydenko, Ph.D. tech. sci.

Lytsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

Construction of the information space of energy consumption efficiency monitoring in municipal water supply systems

During the monitoring it is necessary to get different information about objects depending on the depth of the research. This requires the formation of information space for energy consumption efficiency monitoring.

Municipal water supply system is considered to be a complex production system. Formation of the information space of monitoring has been proposed to perform taking into account different hierarchical levels. For this purpose, a formalized description of monitoring subjects with the help of set of attributes has been made. These attributes take into account their functional features and hierarchical level of the water supply system, as well as the effectiveness of the initial state and organization of the operating mode of objects. Principles of functional elements association as well as input and output data of the information space in information blocks have been considered. The method of data consolidation about the monitoring subjects in the single information system has been proposed.

Formation of the information space of monitoring energy consumption efficiency provides obtaining information about the objects of water supply systems, which is necessary for analysis of their energy efficiency.

energy consumption efficiency, monitoring, municipal water supply system

Одержано 15.11.15