



$$\times \left[\frac{(\eta_{\text{гран}} - m_{0\eta} + m_V t^\alpha) \sqrt{\sigma_{0\eta}^2 + \sigma_V^2 \cdot t^{2\alpha}} - (\eta_{\text{гран}} - m_{0\eta} + m_V t^\alpha) \cdot (\sqrt{\sigma_{0\eta}^2 + \sigma_V^2 \cdot t^{2\alpha}})'}{\sigma_{0\eta}^2 + \sigma_V^2 \cdot t^{2\alpha}} \right] =$$

$$= \alpha \cdot t^{\alpha-1} (2\pi)^{-1/2} \cdot (\sigma_{0\eta}^2 + \sigma_V^2 \cdot t^{2\alpha})^{-3/2} \left| m_V \cdot \sigma_{0\eta}^2 - \sigma_V^2 \cdot t^\alpha (\eta_{\text{гран}} - m_{0\eta}) \right| \times \quad (30)$$

$$\times \exp \left\{ - \frac{(\eta_{\text{гран}} - m_{0\eta} + m_V \cdot t^\alpha)^2}{2(\sigma_{0\eta}^2 + \sigma_V^2 \cdot t^{2\alpha})} \right\}.$$

Імовірність безвідмовної роботи елементів одержуємо інтегруванням виразу $f(t, \eta_{\text{гран}})$ по dt

$$P(t, \eta_{\text{гран}}) = \frac{\alpha}{\sqrt{2\pi}} \int_{\eta_{\text{гран}}}^1 \frac{\left| m_V \cdot \sigma_{0\eta}^2 - \sigma_V^2 \cdot t^\alpha (\eta_{\text{гран}} - m_{0\eta}) \right| t^{\alpha-1} \exp \left\{ - \frac{(\eta_{\text{гран}} - m_{0\eta} + m_V \cdot t^\alpha)^2}{2(\sigma_{0\eta}^2 + \sigma_V^2 \cdot t^{2\alpha})} \right\}}{\sqrt{(\sigma_{0\eta}^2 + \sigma_V^2 \cdot t^{2\alpha})^3}} dt \quad (31)$$

Використання на практиці запропонованих прогнозних моделей в комплексі із діагностикою гідроприводів дасть можливість прогнозування параметричних відмов та призначення науково-обґрунтованих термінів проведення ТО та ремонтів гідроприводів БДМ в залежності від закономірностей зміни технічного стану їх елементів в реальних експлуатаційних умовах.

УДК 681.513:62-50

Є.П. Григоровський, д-р техн. наук, проф. КНУБА,
І.В. Вознюк, інженер

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ІНЖЕНЕРНИМИ МЕРЕЖАМИ

Автоматизовані системи управління технологічними процесами (АСУТП) в інженерних мережах - це ерготичні (людино-машинні) системи управління, які призначені для збору, зберігання та обробки інформації про об'єкти управління з використанням сучасних засобів електронної обчислювальної техніки та економіко-математичних методів з метою визначення оптимальних (найкращих у визначених умовах) керуючих впливів на об'єкт управління (ОУ).

Інженерні мережі – це клас сітєвих систем, які здійснюють розподіл матеріальних ресурсів (цільових продуктів – ЦП) і являють собою узагальнюючі мережі з підкласами трубопровідних мереж (ТМ), для яких справедливі I та II постулати сітєвих систем (два закони Кірхгофа для ТС) і які можна представити як орієнтований зв'язаний граф, кожної дузі якого відповідають активні та пасивні елементи (АЕ та ПЕ) й дві змінні величини: послідовна та паралельна, які пов'язані між собою у загальному випадку нелінійною залежністю.

За останній час принципи управління технологічними процесами і процесами розподілу ЦП між споживачами значно ускладнилися. В практиці експлуатації мереж окрім нормальних режимів мають місце аварійні ситуації (гідравлічні удари та ін.), що створює певні труднощі при управлінні режимами роботи. Ці труднощі визначаються сітєвим характером керованої системи; неоднорідною розгалуженістю параметрів; розосередженістю регулюючих органів (РО) по мережі; нелінійною залежністю між параметрами та узагальненими координатами системи; взаємозв'язком узагальнених

координат; наявністю збурюючих впливів, які являють собою випадкові функції; інтенсивним ускладнюванням системи та топології при її розвитку і реконструкції.

В результаті виникла потреба докорінної перебудові технології управління поточкорозподілом в інженерних мережах – методів та засобів збирання і обробки інформації, контролю і аналізу виробництва, процедур формування і прийняття рішень. Поєднання творчого потенціалу людей з великими можливостями ЕОМ дозволяє створювати нові нетрадиційні методи і засоби управління у вигляді автоматизованих систем управління технологічними процесами в інженерних мережах (АСУТП).

При розробці галузевої АСУ і підготовці відповідних спеціалістів необхідно вирішувати багато питань з урахуванням специфіки інженерних мереж, а також низки характерних для ТМ рис, основними з яких є:

1. Перехідні процеси в ТС описуються системою нелінійних рівнянь, які досі ще невирішені у загальному виді.
2. Наявність випадкових процесів, невизначеність поведінки ТМ.
3. Неповність інформації та її невірогідність при роботі ТС у будь-якому режимі.
4. Не стаціонарність ОУ, що є результатом росту об'ємів споживання ЦП, зростання кількості джерел і споживачів, поява у мережі і в роботі електромеханічного та технологічного обладнання аварійних ситуацій, що веде до необхідності побудови адаптивних АСУТП.
5. Не стаціонарність ОУ, а, внаслідок цього, неможливість відтворення ОУ, що призводить до необхідності синтезу моделей середовища і ТС у реальному масштабі часу.

При рішенні поставленої задачі необхідно мати на увазі те, що при усталеному процесі поточкорозподілу критерієм оптимальності є мінімум витрат потужності на подачу води у мережу, а при перехідному – інтеграл від деякої міри миттєвого відхилення вектору \vec{q} від деяких допустимих його значень $\vec{q}_{доп.}$, який повинен бути мінімізованим відповідною по часу зміною координат РО. При аварійному режимі, наприклад, гідравлічному ударі, за критерій оптимізації слід приймати час переходу системи з аварійного стану в задане, тобто СУ повинна бути оптимальною по швидкодії. Процес управління необхідними режимами роботи системи водопостачання при аварійних ситуаціях розглядається з позицій оптимального управління кінцевим станом поточкорозподілу на момент гальмування параметрів компонентів системи, що визначається деяким базовим часом t розвитку перехідного процесу або аварійної ситуації.

При побудові цього управління враховується взаємний прояв локальних тисків (напорів) по віткам мережі при максимально можливому значенні вектора надмірних тисків. З цього можна сформулювати принцип управління і визначити показник ефективності досягнення цілі управління.

Принцип управління полягає в направленні хвильового процесу або аварійної хвилі при гідравлічному ударі по деякому критичному шляху без відгалужень у потрібному напрямку та в створенні такого стану у деяких вітках мережі, що зберігає в інших ділянках та вітках мережі допустимі характеристики компонентів системи, які задовольняють нормам. Зауважимо, що мета і принцип управління є загальними щодо нормального і реверсивного управління АРО (активних управляючих органів) при конкретній аварійній ситуації або перехідному процесі. Математично це може бути виражено у вигляді деякого функціоналу Q – критерію оптимальності, якому потрібно забезпечити екстремальне значення при дотриманні визначених обмежень, що накладаються на векторні змінні системи.

У загальному вигляді ціль управління може бути представлена у вигляді наступних співвідношень

$$Q = (\vec{S}^*; \vec{Y}^*; \vec{W}) = \text{extr} \quad (1)$$



$$\vec{S}^* = (\vec{q}^*; \vec{n}^*); \in \Omega(\vec{S}^*); \vec{Y}^* (\Omega(\vec{Y}^*)); \vec{W} (\Omega(\vec{W})) \quad (2)$$

$$q(-\vec{q}; i) = M; \text{sign} q_i = \text{const} \quad (3)$$

де $\Omega(\vec{S}^*); \Omega(\vec{Y}^*); \Omega(\vec{W})$ - допустимі області зміни векторних змінних у відповідних векторних просторах.

Таким чином, алгоритм оптимального управління поточкорозподілом ЦП в інженерної мережі при перехідному режимі (випадок систем з повною апріорною інформацією) або стратегію управляючої системи можна представити виразом

$$W = K(\vec{S}; \vec{Y}; \vec{W}). \quad (4)$$

Останній слід розглядати як послідовність математичних та логічних операцій, що забезпечують виконання умов (1) та (2) й умов стійкості системи управління, які необхідні для отримання потрібних координат РО системи. Тут під терміном "стійкості системи" слід розуміти стійкість мережі по направленню потоків і стійкість роботи АРО.

Отримання потрібного оптимального режиму водопостачання, виходячи з принципу та цілі управління, виконується в залежності від стану сітьової системи об'єктів споживання ЦП вхідними регулюючими впливами. Отже, закон зміни потоків у мережі суттєво залежить від її динамічних властивостей та від умов складання синхронного моделюючого графу G мережі.

У загальному випадку стан мережі при аварійної ситуації характеризується деяким орієнтованим моделюючим графом, математична модель якого представлена функціоналом виду:

$$F(\vec{S}^*; \vec{Y}^*; \vec{W}) = 0. \quad (5)$$

В умовах функціонування АСУТП інженерна мережа оснащується датчиками тисків та витрат, які встановлюються в визначених точках. Усі датчики приєднуються до перетворювачів відповідних аналогових сигналів в код. Ці сигнали по каналам зв'язку передаються до диспетчерського пункту, який має комплекс технічних засобів (КТЗ), за допомогою якого реалізується управління об'єктом на базі економіко-математичних методів. Основу КТЗ складають ЕОМ, мережі ЕОМ, засоби збору, передачі та зберігання інформації, включаючи засоби її телеобробки. Отримана інформація аналізується та передається оператору – особі, яка приймає рішення (ОПР), в зручному для сприйняття вигляді. Після прийняття рішення управляючі сигнали подаються на виконавчі механізми (ВМ) ОУ.

У такій системі управління (СУ) ОПР здійснює управління, використовуючи рекомендації щодо оптимального ведення ТП в інженерній мережі. При цьому ЕОМ робить первинну обробку інформації, необхідні розрахунки та виконує функції порадника-диспетчера.

При перехідних процесах, які часто викликають аварійні ситуації, диспетчер повинен за допомогою ЕОМ обрати найбільш ефективний варіант дій по локалізації аварії, скороченню тривалості такого перехідного процесу і т. ін., тобто визначити які засувки повинні бути переключені і які тиски повинні мати насосні станції для забезпечення споживачів водою в умовах, що створилися.

На рис. 1 зображена схема системи автоматизованого управління інженерною ТМ. При реалізації такої системи управління задачею ОПР є оцінка стану середовища та об'єкту, формулювання цілі управління. Якщо ж ці стани не є задовільними, то ОПР приймає рішення про здійснення управляючих впливів $\vec{U}(t)$. Для оцінки стану середовища й ОУ ОПР отримує інформацію $\vec{I}(\vec{X}; \vec{Y}; \vec{Z})$, яка характеризує ситуацію, що склалася й лежить в основі процесу управління. При цьому інформація \vec{I} є далеко не повною й часто слабо формалізованою, тому ОПР не вдається сформулювати потрібний критерій, що приводить до необхідності векторної оптимізації. В АСУТП вектор \vec{U}^* у загальному випадку відрізняється від вектора \vec{U} , який пропонує система управління, і так

як ОПР у момент прийняття рішення має можливість врахувати усю додаткову інформацію, то в таких системах управління \bar{U}^* і \bar{U} співпадають.

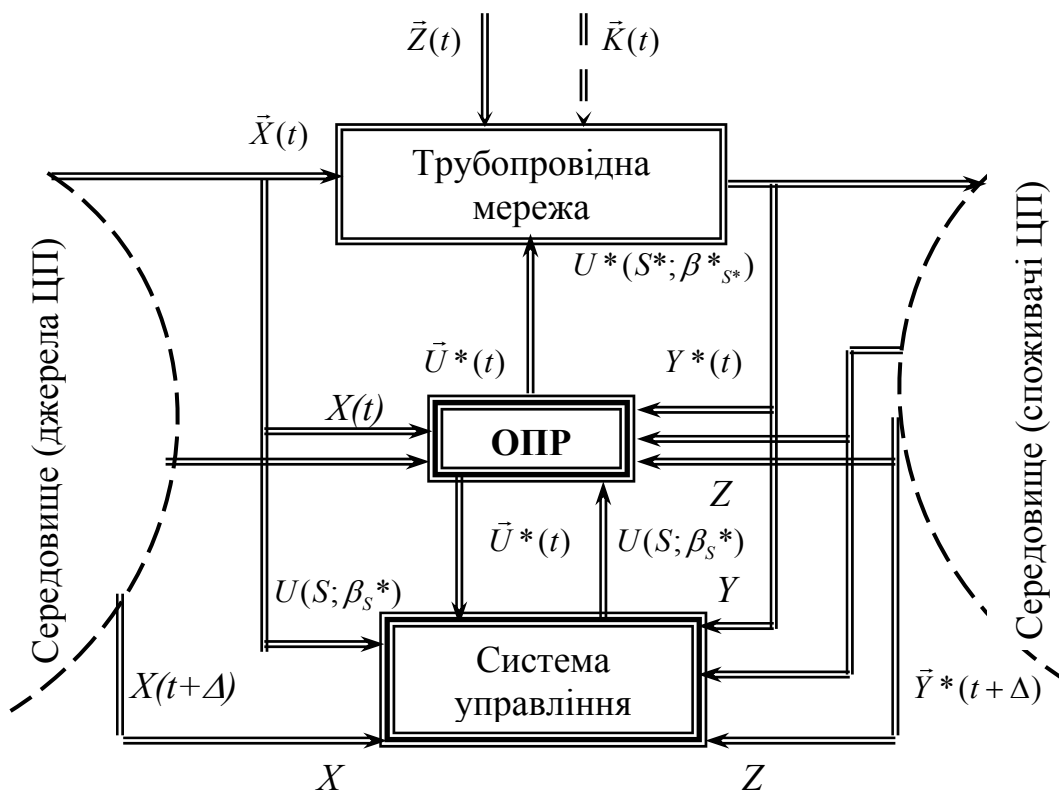


Рис. 1. Схема управління інженерною мережею

Компоненти вектора $X(t)$, які характеризують у момент часу t вхідні параметри ЦП, що поступає до трубопровідної мережі. Вектор вхідних параметрів може бути представленим у вигляді двійки векторів $\bar{X} = \langle \bar{q}_{\text{вх}}; \bar{P}_{\text{вх}} \rangle$ (вектору витрат ЦП $\bar{q}_{\text{вх}}$ та вектору тисків $\bar{P}_{\text{вх}}$). Розмірність цих векторів залежить від кількості входів інженерної мережі. Компоненти векторів $\bar{Y}_i(t)$ і $\bar{Y}_i^*(t)$ - фактичні та необхідні параметри ЦП на виході ТМ до споживача. Вектор вихідних параметрів можна характеризувати як $\bar{X} = \langle \bar{q}_{\text{вих}}; \bar{P}_{\text{вих}} \rangle$. Складові векторів $\bar{q}_{\text{вих}}$ та $\bar{P}_{\text{вих}}$ відповідають величинам витрат і тисків ЦП. Рівномірність векторів $\bar{q}_{\text{вих}}$ і $\bar{P}_{\text{вих}}$ у загальному випадку залежить від кількості споживачів мережі.

Вектор $\bar{Z}(t)$ визначає вимоги середовища і являє собою

$$\bar{Z} = \langle \bar{q}_{\text{вих}}^{mp}; \bar{P}_{\text{вих}}^{mp} \rangle, \tag{6}$$

де $\bar{q}_{\text{вих}}^{mp}$ і $\bar{P}_{\text{вих}}^{mp}$ - вектори необхідних поставок ЦП споживачам і відповідно мінімально допустимих тисків на їх входах.

Цей вектор характеризує збурення ОУ, що викликається відказами елементів ТС.

Вектор $\bar{K}(t)$ являє собою сигнал збурення, викликаний відказами, що не залежать від ТС. Це може привести до перехідних процесів із великими амплітудами (відключення електроенергії від електродвигунів НС, раптове підключення або відключення потужних споживачів та ін.). Компоненти векторів $\bar{X}(t+\Delta)$; $\bar{Y}(t+\Delta)$ характеризують прогностичні значення вхідних та потрібних параметрів ЦП через деякий час Δ .



При розгляданні роботи АСУТП будемо вважати, що інженерна мережа описується оператором \vec{F} , який перетворює вхідні змінні \vec{X} у вихідні змінні \vec{Y} , тобто $\vec{Y} = \vec{F}(\vec{X})$. Оператор \vec{F} також буде визначатися двійкою $\vec{F} = \langle \vec{S}; \vec{\beta}_s \rangle$, де S - структура мережі; β_s - її параметри при даній структурі.

Структура будь-якої інженерної трубопровідної мережі може також визначатися двійкою $S = \langle S_1; S_2 \rangle$ де S_1 - структура активних елементів; S_2 - структура ліній зв'язку. Така природна декомпозиція складної ТМ на активні елементи та лінії зв'язку, а також різний характер параметрів, що характеризують підсистеми, дозволяють представити вектор параметрів β_s у вигляді двійки $\beta_s = \langle \beta_{s1}; \beta_{s2} \rangle$, де β_{s1} - параметри активних елементів; β_{s2} - параметри ліній зв'язку. Вектор управління \vec{U}^* також будемо визначати двійкою $\vec{U}^* = \langle S^*; \beta_s^* \rangle$, де S^* ; β_s^* - відповідно структури та параметри мережі ТС, які повинні бути отриманими в результаті реалізації управління.

Управління процесом поточкорозподілу у ТМ здійснюється шляхом зміни структури та змінних її окремих підсистем і, якщо вектор $\vec{Y}(t)$ не відповідає потрібному вектору $\vec{Y}^*(t)$, то СУ повинна виконати свої функції у повній мірі, тобто здійснити управляючий вплив $\vec{U}(t)$ на ОУ, щоб максимально наблизити вектор $\vec{Y}(t)$ до вектору $\vec{Y}^*(t)$.

Розвиток мікропроцесорної техніки та створення на її основі нових інформаційних технологій, дозволяє при реалізації автоматизованої системи управління інженерними мережами використовувати інтегровані мікропроцесорні системи із широкою номенклатурою датчиків із заданими характеристиками й сучасними персональними ЕОМ, сумісними з IBM PC. Такий підхід дозволяє вирішувати питання обмежень щодо складності систем управління та підвищити її якість.

Література

1. Григоровский Е.П. Исследование динамики сетевых систем современными методами. – К.: Вища школа, 1979. – 200с.
2. Евдокимов А.Г., Тевяшев А.Д. Оперативное управление потокораспределением в инженерных сетях. – Харьков: Вища школа, 1980. – 142 с.