

УДК 656.02:338.47(045)

О.А. Тамаргазін, д-р техн. наук, проф.
Н.Г. Науменко, студ.

ЕФЕКТИВНІСТЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ ГАЗОПРОВІДНИХ РОЗПОДІЛЬНИХ СИСТЕМ

Розглянуто питання підвищення ефективності газопровідних транспортних розподільних систем з безперервним стохастичним характером споживання цільового продукту.

Considered to the methods of increasing of the effectiveness of aggregated tube transport distributing systems with stochastic continuous consumption of desired product functioning.

Вступ

Газопровідні системи – це домінуючий вид транспортування цільового продукту (ЦП), який перебуває в газоподібному агрегатному стані.

Концентрація населення і господарської діяльності в містах стимулює розвиток трубопровідних транспортних розподільних систем (ТТРС), які є основним видом транспортування такого продукту, як газ.

Обмеженість ресурсів, передусім, трудових, фінансових і матеріальних, жорсткі екологічні норми, стохастичний характер споживання і, як наслідок, значна невизначеність стану і параметрів потокорозподілу висувають нові вимоги до експлуатації ТТРС. Вимоги ставляться до технології оперативного контролю та управління режимами функціонування ТТРС з відбору, оброблення, транспортування і розподілу ЦП. Такі технології повинні забезпечувати раціональне використання наявних ресурсів у разі дотримання всіх екологічних норм і санітарних вимог.

Постановка проблеми

Раціональне управління ТТРС є складним багатокритеріальним завданням, вирішення якого може бути досягнуто за рахунок:

- розробки системи адекватного оцінювання стану ТТРС і параметрів потокорозподілу, що дозволяє відслідковувати надійність постачання ЦП конкретним споживачем і якість функціонування системи в цілому;
- оптимізації процесів функціонування ТТРС, що дозволяє виважено використовувати матеріальні і фінансові ресурси;
- автоматизації процесів функціонування ТТРС, що дозволяє скоротити потреби в трудових ресурсах.

Актуальність завдання щодо забезпечення ефективності експлуатації ТТРС є очевидною.

Вирішення завдань, спрямованих на підвищення ефективності функціонування ТТРС з безперервним стохастичним характером споживання ЦП, вимагає комплексного системного розгляду.

Метою роботи є підвищення ефективності функціонування ТТРС з безперервним стохастичним характером споживання ЦП.

Вирішення проблеми

Аналіз практичного досвіду з експлуатації ТТРС дозволяє сформулювати основні завдання дослідження, а саме розробки:

- імітаційної моделі безперервного стохастичного процесу споживання ЦП;
- імітаційної моделі функціонування ТТРС з проведенням дослідження кількісних і якісних характеристик її експлуатації;
- методу синтезу агрегованої моделі ТТРС для вирішення задач вибору режиму роботи, уточнення критеріїв оцінювання ефективності функціонування ТТРС.

Виходячи з цих передумов, вирішення задач дослідження спирається на використання методів:

- теорії графів;
- теорії прийняття рішень у багатокритеріальних задачах;
- оптимізації і математичного програмування;
- теорії управління;
- дослідження операцій;
- математичної статистики.

За особливостями функціонування ТТРС належить до класу багатовимірних, нелінійних, стохастичних систем з великою кількістю внутрішніх і зовнішніх зв'язків, з розподіленими параметрами, і мережевою багаторівневою структурою. Управління такою системою здійснюється в умовах неповної, недостовірної інформації про стан ТТРС і зазвичай в умовах жорсткого дефіциту ресурсів і має бути автоматизованим, багатоцільовим, багаторівневим, з високими показниками надійності. Дефіцит ресурсів і технологічні обмеження значно ускладнюють розв'язання задач щодо забезпечення ефективного функціонування ТТРС. У грошовому вираженні ефективність функціонування ТТРС визначається як співвідношення доходів від надання послуг із транспортування ЦП до витрат на функціонування системи. Управління такою складною системою спирається на принципи теорії систем і методологію об'єктно-орієнтованого аналізу.

Управління ТТРС – цілеспрямований комплекс взаємозалежних заходів технічного й організаційного рівня. Під час декомпозиції процесу управління останній розподіляється на три контури управління: технологічний, організаційно-економічний, інформаційно-аналітичний.

У межах технологічного контуру функціонують підсистеми, які реалізують головне функціональне призначення ТТРС, – постачання ЦП і допоміжні підсистеми, що забезпечують функціонування основного функціонального компонента у штатних ситуаціях і ліквідацію наслідків позаштатних ситуацій.

У межах організаційно-економічного контуру функціонують адміністративна структура управління підприємством і фінансово-економічна підсистема.

Інформаційно-аналітичний контур управління є унікальним за своєю природою. Це водночас і підсистема підприємства, й інформаційна мета-система, яка акумулює інформаційну історію, як технологічну, так і організаційну, регулюючи інформаційні потоки оперативного управління, економічного аналізу і стратегічного планування діяльності підприємства. Єдність інформаційно-аналітичної підсистеми відображає факт єдності самої ТТРС як цілісної системи.

Встановивши функціональне призначення і межі ТТРС як цілісної системи, можна стосовно системи виявити зовнішні об'єкти, які в термінології теорії систем формують "зовнішнє середовище" функціонування ТТРС. Середовище функціонування ТТРС такі об'єкти і системи: споживачі ЦП; трубопровідна транспортна система; постачальники матеріальних ресурсів; органи державного і територіального управління та контролю.

Завдання аналізу функціонування ТТРС із безперервним стохастичним характером споживання ЦП є ключовим у прийнятті рішень про вибір режиму функціонування ТТРС. Складність ТТРС, її виняткова важливість для життєзабезпечення населення визначає необхідність розробки системи інформаційно-аналітичного підтримання прийняття рішень.

Аналіз функціонування ТТРС дозволив не тільки виділити контури управління, які впливають на підвищення ефективності функціонування, а також окреслити межу їх відповідальності у процесі оперативного вибору і зміни режимів функціонування ТТРС. У процесі життєвого циклу системи її фактичні параметри безперервно змінюються і є функціями від часу експлуатації.

Стан споживачів ТТРС є водночас ендегенним і екзогенним фактором, що визначає стан системи. Цей фактор є ендегенним стосовно взаємної незалежності вимог споживачів до характеру подавання ЦП. З іншого боку, взаємозалежність споживачів і їх залежність від стану активних ділянок мережі визначає, в остаточному підсумку, рівень споживання, тобто екзогенне розподілення потоків ЦП у ТТРС.

Миттєві узагальнені показники ефективності функціонування є такими, що формують цільову функцію у процесі оперативного вибору і зміни режиму функціонування, а інтегральні узагальнені показники формують цільову функцію для планування профілактичних заходів, ремонтних робіт, генерації проектів з реконструкції та розвитку системи.

Модель стохастичного процесу споживання ЦП безпосередньо визначає результати імітаційного моделювання, метод синтезу ієрархії імітаційних моделей ТТРС і їх порівняльну характеристику. Для синтезу моделей розглянуто критерії вибору імітаційної моделі для вирішення завдань вибору режимів функціонування ТТРС і побудовано імітаційну модель стохастичного споживання ЦП. Характеристики споживача з урахуванням потреби в цільовому продукті як випадкові функції часу доводять, що рівень споживання окремим споживачем визначається не тільки станом входів, але і потребами інших учасників процесу споживання.

Під потребою i -го абонента будемо розуміти пари значень $\rho_i = (q_i^T, P_s^*)$, де $P_s^* = \text{const}$ – мінімальний припустимий тиск, обумовлений характеристикою споживача; $q_i^T = q_i^T(t)$ – потрібна витрата як випадкова функція часу.

На ділянці трубопроводу фіксованого діаметра, якщо немає аварії на цій ділянці, можна подавати ЦП в обсязі q , що є максимально можливою витратою на ділянці. Якщо обрати як ділянку підведення до споживача, тоді можна стверджувати, що q є максимально можливою витратою для споживача. Будемо вважати, що q – максимальне значення потрібного споживачеві ЦП, тоді в будь-який момент часу t для i -го споживача $q_i^T(t) = \alpha_i(t)q_i$, де $\alpha_i(t)$ – випадкова функція, що належить інтервалу $[0,1]$.

Нерівномірність споживання протягом доби приводить до того, що

$$\alpha_i(t) \in [\alpha_{i1}(t), \alpha_{i2}(t)],$$

де $\alpha_{i1}(t) \geq 0$, $\alpha_{i2}(t) \leq 1$, $\alpha_{i1}(t) \leq \alpha_{i2}(t)$, $\alpha_{i1}(t) \geq 0$.

Величину $z_i^*(t) = q_i(t)P_i^*$ назвемо забезпеченістю споживача, тоді, подаючи споживачеві витрату $q_i^*(t) = \alpha_i^*(t)q_i$,

забезпечимо його потреби:

$$q_i^*(t)h_i = z_i^* = q_i^T(t)P_i^*; \quad \alpha_i^*(t)q_ih_i = \alpha_i^T(t)q_iP_i^*;$$

$$\alpha_i^*(t)h_i = \alpha_i^T(t)P_i^*.$$

З огляду на те, що

$$\alpha_i^T(t) \in [\alpha_{i1}(t), \alpha_{i2}(t)],$$

одержимо

$$\frac{\alpha_{i1}(t)P_i^*}{h_i} \leq \alpha_i^T(t) \leq \frac{\alpha_{i2}(t)P_i^*}{h_i}.$$

Таким чином,

$$\alpha_i^T(t) \in [\alpha_{i1}^T(t), \alpha_{i2}^T(t)],$$

де $\alpha_{i1}^T(t), \alpha_{i2}^T(t)$ – вимір тиску на i -му споживачеві:

$$\alpha_{i1}^T(t) = \frac{\alpha_{i1}(t)P_i^*}{h_i};$$

$$\alpha_{i2}^T(t) = \frac{\alpha_{i2}(t)P_i^*}{h_i}.$$

Розглядаючи n споживачів, одержимо випадковий вектор

$$\alpha(t) = (\alpha_1(t), \alpha_2(t), \dots, \alpha_n(t)),$$

де $\alpha_i(t) \in [\alpha_{i1}(t), \alpha_{i2}(t)]$.

Тобто, забезпеченість n споживачів зводиться до такого:

$$\alpha(t) \in \Omega,$$

де Ω – n -вимірний гіперкуб зі стороною $[\alpha_{i1}(t), \alpha_{i2}(t)]$. У загальному випадку область $\Omega = \Omega(t)$ є функцією часу.

Значення витрати у споживача розглянемо у вигляді $q_i = \alpha_i q_i^+$, де $\alpha_i = \alpha_i(t)$ – коефіцієнт комфортності споживача, $q_i^+ = q_i^+(t)$ – мінімально необхідні потреби. Модель споживача відображає той факт, що його потреби належать обмеженій області $q_i^+ \leq q_i \leq q_i^{++}$. Позначимо як α_0 максимальне значення коефіцієнта комфортності. З очевидних міркувань $\alpha_0 = q_i^{++}/q_i^+$. З урахуванням коефіцієнта комфортності область припустимих рішень набуває вигляду

$$\Omega_0 : \bar{Q}^{n+} \leq \bar{\alpha} \bar{Q}^{n+} \leq \bar{\alpha}_0 \bar{Q}^{n+},$$

де елементами, які задовольняють таким умовам, є

$$q_i^+ \leq \alpha_i q_i^+ \leq \alpha_0 q_i^+, \quad i = \overline{1, n},$$

де $\alpha_0 \geq 1$ – константа, а $\alpha_i \in [1, \alpha_0]$.

Тоді Ω_1 – область визначення витрати, обумовлена можливістю ТТРС

$$\Omega_1 : \sum_{i=1}^n \left(\frac{q_i^+(\alpha_0 - \alpha_i)}{r_i} \right)^2 \geq 1,$$

де r_i – характеристика ступеня доступності цільового продукту, що залежить від стану насосних станцій і місця розташування i -го споживача (близькість до насосних станцій, близькість розташування до великих магістральних ділянок розподільної мережі).

Для створення математичної моделі ТТРС, яка належить до класу об'єктів мережевої структури (інженерних мереж), скористаємося математичною моделлю сталого процесу потокорозподілу (ММ СППР) – системою нелінійних рівнянь у сукупності із системою лінійних рівнянь зв'язку. Її параметрами є структура графа і навантажувальні характеристики дуг графа. Структура графа визначає розмірність системи нелінійних рівнянь: M_i – i -та сукупність параметрів ММ СППР (модель);

Δt^* – інтервал часу формування управляючого рішення, або обмеження на час моделювання;

Δt_i – інтервал часу моделювання для моделі M_i ;

$\bar{P}^* = (\bar{P}_{1i}, \bar{P}_{2i}, \bar{P}_{3i})$ – вектор виміру напору у вузлах системи подавання і розподілу (СПР);

\bar{P}_{1i} – вимір напору на входах активних ділянок;

\bar{P}_{2i} – вимір напору на виходах активних ділянок;

\bar{P}_{3i} – вимір напору в контрольованих вузлах;

$\bar{P}_i = (\bar{P}_{1i}, \bar{P}_{2i}, \bar{P}_{3i})$ – вектор напору, отриманий під час моделювання за моделлю M_i , має таку ж структуру, що й вектор вимірів.

Можливо використовувати ММ СППР під час розв'язання задач раціонального вибору стану СПР за результатами розрахунку ММ СППР на обраній моделі.

Процес моделювання повинен задовольняти такі вимоги:

– обмеження на час моделювання;

– забезпеченню можливості розширеної оцінки стану об'єкта, тобто одержання розумних значень напору у вузлах моделі, що відповідають неконтрольованим вузлам реальної СПР;

– забезпеченню адекватності моделі.

Ці вимоги визначають протилежні тенденції під час вибору параметрів ММ СППР для конкретної мережі. Забезпечити високу швидкість моделювання можна, зменшивши розмірність системи нелінійних рівнянь (спрощення структури графа). Для виконання вимог щодо високої швидкості моделювання з множини моделей $\Omega = \{M_i\}$ слід вибирати модель за критерієм $\min_{\Omega} \Delta t_i$.

Якщо визначено величину Δt^* та існує підмножина моделей $\Omega_1 \in \Omega$ така, що

$$\Omega_1 = \{M_i \mid \Delta t_i < \Delta t^*\},$$

то можна обрати або знайти модель одним зі способів:

– посилити умови моделювання, тобто вибрати нове значення інтервалу часу формування рішення про зміну конфігурації насосного обладнання $\Delta t_1^* = \max_{\Omega_1} \Delta t_i$;

– спробувати забезпечити другу вимогу і вибрати модель M_i за критерієм $\min_{\Omega} |\Delta t_i - \Delta t^*|$.

Це дозволить серед моделей, які задовольняють обмеження за часом, вибрати найбільш інформативну.

Оцінювання адекватності обраної моделі можна провести у разі наявності інформації про вимірювання параметрів поточкорозподілу, які отримані з вимірювальною апаратурою, що встановлена на діючій ТТРС. У разі безаварійної роботи ТТРС оперативний вибір і зміна режиму роботи – це зміна конфігурації елементів на активних ділянках. Складова \bar{P}_1^* найменш динамічна і при моделюванні можна покласти $\bar{P}_{1i}^* = \bar{P}_1^*$. Якщо на попередніх етапах моделювання вирішена задача ідентифікації параметрів елементів активних ділянок, то критерій адекватності моделювання задовольняє умову $\max_{\Omega} |P_j^* - P_{ji}| \leq \varepsilon$, де ε – точність вимірювальної апаратури або вимога до точності моделювання.

На активній ділянці є вузли виходів активних ділянок, критерій адекватності моделювання яких можна сформулювати у вигляді

$$\forall \bar{P}_{2j}, \bar{P}_{2j} = \bar{P}_{2j}^*, \max_{\Omega} |P_{3j}^* - P_{3ji}| \leq \varepsilon;$$

$$\min_{\Omega} \sum (Q_{2j}^* - Q_{2j})^2,$$

де Q_{2j}^* , Q_{2j} – відповідно вимір і модельне значення витрати на j -й активній ділянці.

Через обмеженість оперативної інформації про стан мережевої системи при виборі моделі $M_i \in \Omega \{M_k\}$ реально можна використати сукупність критеріїв.

Синтез структури системи і її підсистем, розробка структури математичного забезпечення, що буде їх обслуговувати, можуть бути зведені до математичного апарата функціонально-логічних схем багатозначної логіки. Априорна інформація дозволяє вибрати ознаки, які однозначно ідентифікують кожний стан, і розподілити можливі стани на підмножини – класи. Існують такі послідовності визначення й аналізу ознак, які забезпечують визначення класу поточного стану з

мінімальними часовими або матеріальними витратами. Можливість вибору послідовності ознак вказує, що оптимізація структури вимагає враховувати можливу транспозицію вершин у кодовому дереві. Висловлювання, які допускають кілька значень істинності, можуть бути як елементарними, так і складними. Вони формують словник ознак. Ознаками можуть виступати судження якісного характеру типу «наявність – брак» яких-небудь властивостей досліджуваної ТТРС. Елементарні висловлення можуть відповідати параметрам ТТРС, які описуються безперервними функціональними залежностями. У цьому випадку пропонується використання апарата функціонально-логічних схем для оцінювання потрапляння значення безперервної фізичної величини в задані інтервали.

Можна проводити окремі дослідження під час, коли інтегрована функціональність системи не затребувана, наприклад, уночі, коли споживачі майже не користуються послугами системи або елементи системи переключені в автономний режим роботи на певний період.

Обчислювальний експеримент являє собою послідовність розрахунків, за якої поведження діючого об'єкта розглядається як результат розрахунку імітаційної моделі з повною структурною і параметричною відповідністю.

Завдяки методу параметричного і топологічного перетворення імітаційної моделі з повною структурною і параметричною відповідністю було побудовано сім'ю агрегованих моделей. За допомогою обчислювальних експериментів досліджена адекватність побудованих агрегованих моделей за різних умов розподілу споживання ЦП у вигляді середнього відхилення тиску і максимального відхилення тиску в контрольованих вузлах.

Висновки

Результати дослідження можуть використовуватися під час експлуатації ТТРС для:

- навчання диспетчерського персоналу як елемента, що забезпечує контроль і оцінювання дій персоналу;
- прийняття рішень як елемента, що генерує множину можливих станів системи та імітує можливі наслідки прийнятих рішень;
- оптимального вибору режимів роботи ТТРС як технології, що породжує область визначення можливих станів діючого об'єкта при розв'язанні задачі оптимізації процесу функціонування ТТРС.