

загальні закономірності поведінки системи у передаварійний період, які використано для створеної СПАС. Пілотні дослідження з метою її побудови проведені з використанням інформації з архівів РАС для АСУТП на базі МАУС-250-Т розробки ВАТ “ЛьвівОРГРЕС”. Запропоновано загальну схему СПР щодо попередження аварійних ситуацій на основі аналізу початкових етапів їхнього розвитку. Побудовано та випробувано алгоритми формування навчальних прикладів для налагодження нейромережного класифікатора для прийняття рішень про характер ситуації, що може викликати спрацювання захистів. Використання нейромережного класифікатора, побудованого за схемою багатопарового, показало можливість застосування такого підходу для виділення САС. Основна перевага запропонованої методики полягає у можливості її використання для аналізу сигналів у реальному часі, а недоліком – недостатня чутливість. Подальші дослідження будуть скеровані на пошук шляхів підвищення чутливості системи розпізнавання.

1. Нікольський Ю.В. Моделирование процессов принятия решений при локализации причин срабатывания защит на энергетических предприятиях // *Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”*. – 2004. – № 522. – С. 148–155. 2. Наумчик В.С., Нікольський Ю.В., Симкін Б.Ю., Якимечко Р.Я. Попередня обробка та аналіз інформації для побудови математичної моделі прийняття рішень при локалізації причин спрацювання захистів // *Налагоджувальні, експериментальні та науково-дослідні роботи ВАТ “ЛьвівОРГРЕС”*. – Львів, НВФ “Українські технології”. – 2004. – С. 267–278. 3. Панченко С.В., Давыдов Н.В. Оценка надежности характеристик энергетического оборудования с помощью интегрированной программной среды, http://www.sibe.ru/pr_doklad0315.aspx. 4. Васекин В.Н., Чулкова Т.Ю. Использование экспертных методов для анализа углубленной оценки безопасности 1-го энергоблока Курской АЭС, www.insc.gov.ua/forum6/doc/text/tchoulkova.pdf. 5. Денисов И.Н. Состав типовой БД по оценке состояния элементов АС важных для безопасности. // *Международный центр по ядерной безопасности Минатома России / Аннотационный отчет за 2002 год*. – С. 22–24, <http://www.insc.ru/Docs/report/annual2002.pdf>. 6. Нікольський Ю.В. Застосування методу k -найближчих сусідів для прогнозування спрацювань захистів енергоблоків // *Тез. доп. Міжнар. наук.-практ. конф. “Інтелектуальні системи прийняття рішень та інформаційні технології”*, м. Чернівці, 17–19 травня 2006 р. – С. 161–162. 7. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. *Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗов*. – М.: Наука, 1986.

УДК 621.64.029

Н. Притула*, Я. П’янило, М. Притула

*Львівський національний університет імені Івана Франка,
Центр математичного моделювання
Інституту прикладних проблем механіки
і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України

РОЗРАХУНОК УСТАЛЕНОГО РУХУ ГАЗУ В МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОПРОВОДАХ

© Притула Н., П’янило Я., Притула М., 2006

Запропоновано оригінальний алгоритм побудови математичної моделі поточкорозподілу в газотранспортних системах. Математичну модель приведено до системи нелінійних алгебраїчних рівнянь. Розроблено метод її розв’язування. Побудований алгоритм.

Original algorithm of mathematical model building of flows distribution in gas-transport system is offered. The mathematical model adduced to the system of nonlinear algebraic equations. The method of its solving is developed. The built algorithm is approbated.

Актуальність проблеми

Сьогодні багато науковців та інженерів працюють у галузі розроблення моделей, методів і алгоритмів, систем вимірювання, систем проектування і автоматизації процесів у газовій галузі. В

основу досліджень покладено теорії: газової динаміки, інженерних мереж, моделювання складних динамічних процесів, методів розв'язування систем рівнянь, фундаментальних алгоритмів, теорії графів тощо. Базовою задачею задач планування, ідентифікації, оптимізації і керування газопотоками в газотранспортних системах (ГТС) є розрахунок параметрів усталеного руху газу.

Аналіз відомих результатів

Сьогодні ще недостатньо вивчено математичну модель руху газу в трубі, розробляють ефективні алгоритми і методи розрахунку параметрів потокорозподілу в ГТС, причому проблеми виникають з математичним апаратом. Результати досліджень свідчать, що серед числових методів перевагу надають ньютонівським та його модифікаціям, методу скінченних елементів. Ньютонівські методи полягають у поданні відповідних операторів рядами Тейлора зі збереженням лінійного або квадратичного членів і у побудові ітераційних процедур. Збіжність цих методів значною мірою залежить від початкового наближення. Невичерпаними залишаються ще різні методи лінеаризації рівнянь і усереднення за параметрами газу.

Щодо моделі ГТС, то сьогодні розглядають два підходи: метод ув'язки за вузлами та за контурами. Ув'язка за вузлами передбачає формування систем рівнянь відносно невідомих тисків у вузлах. Метод ув'язки за контурами зводить задачу до розв'язання нелінійних систем рівнянь відносно витрат за незалежними контурами. В цих випадках важливим є метод розв'язування отриманої системи рівнянь. Методи розрізняються за швидкодією, областю гарантованої збіжності, точністю тощо. Щодо моделей інших об'єктів, то переважно використовують моделі, побудовані на основі багатократних вимірювань (емпіричні моделі). Особливої уваги заслуговують існуючі моделі компресорних станцій та їхня інтеграція з моделями інших об'єктів. Саме цим розрізняються більшість розроблених комплексів програм.

Постановка задачі

Газотранспортну систему подамо у вигляді орієнтованого графу $G(V, E)$ з множиною вершин V і множиною ребер E . Вершини графу відповідають тим об'єктам ГТС, для яких вхід і вихід не розрізняються (відбори, пункти виміру, місця відводів, свердловини тощо). Ребра графу відповідають об'єктам, для яких характерна наявність входу і виходу (лінійна ділянка, запірні арматура, компресорна станція, регулятор тиску чи витрати тощо). Орієнтація ребер відповідає напрямку течії газу. Надалі парою (i, j) позначатимемо ребро, яке йде з вершини i до вершини j . Вважатимемо, що всі відбори, як і надходження газу в систему, зосереджено тільки у вершинах графу.

Вважають, що кожне ребро графу G має тип: труба, кран, компресорна станція (КС) тощо. Кожен тип ребра описується набором параметрів. Основні параметри об'єктів ГТС можна розбити на такі умовні групи: заміряні, розраховані, задані. Кожну із цих груп розбивають на підгрупи. Кожна підгрупа володіє своїми властивостями, наприклад: заміряні величини (точність, частота, синхронність, спосіб передачі, зберігання, доступність); розраховані (режимні, адаптивні, стану, керовані); задані (контрактні, паспортні, обмежувальні чи граничні, експериментально встановлені, прогнозні тощо).

Загальні параметри вершини $i(n, h, m, k)$: де n – номер вершини; h – висота над нульовим рівнем; m – номер зв'язного підграфу; k – тип вершини.

Основні типи вершин: вершина зміни параметрів, геометрії тощо; вершина звичайна; вершина пункт заміру, пристрій заміру; вершина свіча; вершина входу-джерело; вершина відбору – споживач; вершина прийому і відправлення поршня; вершина-місце проходження комунікацій, доріг, річок.

Вершини різних типів, крім загальних параметрів, мають додаткові параметри, властиві тільки їм.

За відомого тиску на вході трубопроводу математичну модель стаціонарного неізотермічного режиму транспортування природного газу на ділянці трубопроводу постійного внутрішнього діаметра D і довжини L з перепадом висот Δh між кінцем і початком трубопроводу задають формулами

$$p_p^2 e^{-b} - p_k^2 - \lambda z \frac{RTL}{D} \left(\frac{\rho_0 q_0}{S} \right)^2 \frac{1 - e^{-b}}{b} = 0 \quad (1)$$

$$T(L) = T_{01} + T_{02} e^{-aL}, \quad (2)$$

$$T_s = T_{gr} + (T_0 - T_{gr}) \frac{(1 - e^{-aL})}{aL} - \left(D_h \frac{\Delta p}{aL} - \frac{gi}{ac_p} \right) \left(1 - \frac{(1 - e^{-aL})}{aL} \right), \quad (3)$$

де позначено

$$T_{00} = \frac{1}{aL} \left(\Delta p \left(D_i - \frac{1}{c_p \rho_0} \right) + \frac{g \Delta h}{c_p} \right); T_{01} = T_2 - T_{00}, T_{02} = T_0 - T_2 + T_{00};$$

$$i = \frac{\Delta p}{g \rho_c L}; \quad \Delta p = p_0 - p_k; S = \frac{\pi D^2}{4}, \quad a = \frac{k \pi D}{C_p M}, \quad b = \frac{2g \Delta h}{zRT},$$

де T_0 – температура газу на вході в трубопровід; T_{gr} – температура ґрунту; T_s – середня температура газу; D_h – коефіцієнт Джоуля-Ленца; C_p – теплоємність газу за сталого тиску; g – прискорення вільного падіння; k – коефіцієнт теплопередачі від газу до ґрунту; Δh – перепад висот між кінцем і початком газопроводу; p_p – значення тиску на початку газопроводу; p_k – значення тиску в кінці газопроводу; λ – коефіцієнт гідравлічного опору; R – газова стала; z – коефіцієнт стиснення газу; ρ_0 – густина газу, приведена до стандартних умов; q_0 – об'ємна витрата газу, приведена до стандартних умов.

Спад тиску на технологічних об'єктах та місцевих опорах обчислюють за формулою

$$p_{vx}^2 - p_{vux}^2 = \xi \frac{zRT}{S} q^2,$$

де p_{vx} і p_{vux} – вхідне та вихідне значення тисків, ξ – коефіцієнт місцевого опору, S – приведена площа поперечного перерізу місцевого опору.

Змінними цієї системи рівнянь у задачах гідравлічного і температурного розрахунку є: комерційна витрата газу q ; P_n, P_k, T_n, T_k – абсолютні значення тиску і температури газу на початку і в кінці ділянки труби.

Параметрами цієї системи є: коефіцієнт гідравлічного опору ділянки труби λ ; середній на ділянці коефіцієнт теплопередачі від газу у навколишнє середовище k ; а проміжними величинами P_s, T_s – середні значення тиску і температури газу на ділянці труби; T_{gr} – температура ґрунту; a – узагальнений коефіцієнт теплопередачі; D_h – середнє на ділянці значення коефіцієнта Джоуля-Томсона; C_p – теплоємність газу за сталого тиску.

Особливість системи (1)–(3) полягає у функціональній залежності параметра моделі λ від змінних моделі:

$$\lambda = \lambda(R_e, D, E, K), \quad (4)$$

де $R_e = R_e(q, \Delta, \mu, d)$ – число Рейнольдса; Δ – відносна густина газу за повітрям; E – коефіцієнт гідравлічної ефективності ділянки труби; $\mu = \mu(\rho, P_s, T_s)$ – динамічний коефіцієнт в'язкості природного газу; ρ – густина газу за нормальних умов.

Для розв'язності системи рівнянь (1)–(3) її доповнюють рівнянням стану, що дає змогу розрахувати $z = z(P_s, T_s)$.

Система (1) – (3) має 3 рівняння та 6 змінних. Виконання умов її розв'язності в алгебраїчному розумінні вимагає доповнення її рівняннями: $P_p = const$; $T_p = const$; $q_p = const$.

Розв'язання системи (1)–(3) з врахуванням (4) дає значення трьох змінних P_k, T_k, T_s . Як показали проведені дослідження, система (1)–(3) з врахуванням (4) збігається практично з будь-якого початкового наближення.

Постановка задачі температурного і гідравлічного розрахунку ГТС

Для математичної постановки задачі температурного і гідравлічного розрахунку ГТС, структуру якого описують графом $G(V, E)$, введемо наступні позначення. Множину дуг графу E (множина підсистем ГТС) подамо у вигляді об'єднання таких множин

$$E = L \cup K \cup Z \cup P, \quad (5)$$

де L – множина ділянок трубопроводів, $|L| = m$; K – множина компресорних станцій, $|K| = k$; Z – множина запірної арматури, $|Z| = z$; P – множина регулювальної арматури, $|P| = p$.

Кожному елементу зазначених множин відповідає конкретний екземпляр технологічного устаткування, описаний визначеною математичною моделлю, тобто алгебраїчним рівнянням або системою рівнянь і нерівностей. У цьому випадку систему рівнянь математичної моделі стаціонарного неізотермічного режиму транспорту і розподілу природного газу в ГТС можна подати у вигляді:

$$P_{pi}^2 - P_{ki}^2 = \varphi_1(q_i, T_{pi}, T_{ki}), \quad i \in L; \quad (6)$$

$$P_{pi}^2 - P_{ki}^2 = -\varphi_2(q_i, T_{pi}, T_{ki}, n_i), \quad i \in K; \quad (7)$$

$$P_{pi}^2 - P_{ki}^2 = \varphi_3(q_i, O_i), \quad i \in Z; \quad (8)$$

$$P_{pi}^2 - P_{ki}^2 = \varphi_4(q_i, O_i), \quad i \in P; \quad (9)$$

$$T_{ki} = \varphi_7(q_i, T_{pi}, P_{pi}, P_{ki}), \quad i \in L; \quad (10)$$

$$T_{ki} = \varphi_8(T_{pi}, P_{pi}, P_{ki}), \quad i \in K; \quad (11)$$

$$\sum_{i \in G_j^+} q_i - \sum_{i \in G_j^-} q_i = 0, \quad j \in V; \quad (12)$$

$$T_j \sum_{i \in G_j^+} q_i - \sum_{i \in G_j^-} q_i T_{jk} = 0, \quad j \in V; \quad (13)$$

$$X_{j,l \in G_j^-} \sum_{i \in G_j^+} \sum_{l \in G_j^-} X_{i,l} m_{i,l} - \sum_{i \in G_j^+} m_{i,l} = 0, \quad j \in V. \quad (14)$$

Систему (6)–(14) доповнюють рівняннями зв'язку у вигляді рівняння стану газу, рівнянь, що зв'язують компонентний склад газу з його фізичними властивостями та ін.. Як показали проведені дослідження, система (6)–(14) має єдине рішення, якщо додатково задати параметри компресорних станцій, температуру, тиск і склад природного газу на кожному вході ГТС. Крім того, на кожному виході ГТС необхідно задати або тиск, або витрати у відповідній вершині. Система рівнянь (6)–(14) має дуже просту і наочну форму, велику розмірність і практично непридатна для числового розв'язання. Усі відомі сьогодні методи температурного і гідравлічного розрахунку засновано на явному або неявному перетворенні цієї системи рівнянь з метою зниження її порядку до рівня, що допускає її розв'язання на сучасних ПК. Якщо це не вдається, здійснюється її декомпозиція на декілька взаємозалежних систем значно меншої розмірності.

Основні кроки алгоритму гідравлічного розрахунку.

1. Виділення в графі зв'язних компонент (підграфів).
2. Вибір підграфів, в яких є задані тиски в вершинах, виділення одного із тисків в кожній компоненті для яких буде проведено гідравлічний розрахунок.
3. Попередній розподіл потоків газу у напрямку від джерел до кореня побудованих остовних дерев для кожного із зв'язних підграфів.
4. Знаходження в кожній зв'язній компоненті мінімальної кількості незалежних контурів. Алгоритм знаходження таких контурів полягає у:
 - виділенні остовного дерева для кожної зв'язної компоненти, при цьому всі шляхи від кореня остовного графу до джерел вибирають мінімальними за кількістю ребер;
 - виділення контурів (рухаємося від кореня кожного остовного дерева і фіксуємо наступний контур за послідовністю появи хорди).

5. Перевірка умов коректності завдання тисків і перепаду тиску ε на вході і виході КС.
6. Побудова системи нелінійних контурних рівнянь.
7. Розв'язування нелінійної системи рівнянь ітераційним способом (знаходять поточкорозподіл у мережах).
8. Розрахунок тисків у всіх вершинах компонент графів.
9. Для кожної дуги після завершення виконання алгоритму розраховують P_s, T_s, z_s .
10. Здійснюють повторний розрахунок.

Після трьох – чотирьох ітерацій всі основні газодинамічні параметри газу на кожній дузі з достатньою точністю задовольнятимуть рівняння (1)–(3).

Висновки

Запропонований у роботі алгоритм є основою розробленого програмного комплексу для планування режимів роботи газотранспортних систем. Коректність роботи програмного комплексу перевірено на багатьох реальних заміряних даних. За коректних завдань вхідних даних алгоритм завжди збігається із розв'язком відповідної системи. Проведені дослідження на модельних прикладах показали, що область збіжності є досить великою.

1. П'янило Я., Притула М., Павленко В. Аналіз моделей стаціонарного руху газу в трубопроводах // Вісн. Держ. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2003. – № 496. – С. 69–74. 2. Павленко В., П'янило Я., Притула М. Алгоритм гідравлічного розрахунку мереж // Вісн. Держ. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2003. – № 496. – С. 172–177. 3. Александров А.В., Яковлев Е.И. Проектирование и эксплуатация систем дальнего транспорта газа. – М.: Недра, 1974. – 443 с. 4. Вольский Э.Л., Константинова И.М. Режим работы магистрального газопровода. – Л.: Недра, 1970. – 168 с. 5. Черников А.В., Галиуллин З.Т. Формула для расчета коэффициента гидравлического сопротивления газопроводов // Газовая промышленность. – 1998. – № 1. – С. 32–33. 6. Ионин А.А. Газоснабжение. – М.: Стройиздат, 1985. – 415 с. 7. Майника Э. Алгоритмы оптимизации на сетях и графах. – М.: Мир, 1981. – 323 с.

УДК 004.413

П. Жежнич, Н. Шаховська

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра інформаційних систем та мереж

МЕТОДИ ПОДАННЯ ТА ОПРАЦЮВАННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТЕЙ У СИСТЕМАХ НАВЧАННЯ

© Жежнич П., Шаховська Н., 2015

Описано методи моделювання невизначеностей у системах навчання. Подано структуру системи та наведено схеми даних.

In this paper the methods of equivocations in datawarehouses for education systems are described. The algorithms for the solution of primary goals are offered. The system structure and data schema are described.

Вступ

Проблема моделювання невизначеності посідає щораз важливіше місце у теорії сховищ даних, побудованих на основі реляційної моделі (СДРМ). Таке явище пояснюють динамічністю розвитку та