

## **СТРУКТУРА СИСТЕМИ КОНСТРУКТИВНИХ ДАНИХ ДЛЯ ЗАДАЧІ РОЗРАХУНКУ ПОТОКОРОЗПОДІЛУ В СИСТЕМАХ НЕСТИСЛИВОЇ РІДИНИ**

**Abstract.** Methods for presenting information on the data structure used in mathematical models of hydraulic processes in incompressible fluid systems are introduced. The necessary design data are highlighted. The method of accounting for experimental research data available for the elements under consideration is determined. It is shown that, as in the case of nodes and elements of the branches of the graph of the design scheme of the hydraulic distribution network, it is possible to specify information in which each of the elements is allocated mainly three cells of the array. If the amount of information is greater, then methods of using additional data arrays are given.

### **Актуальність**

Проектування паливних систем літаків передбачає розрахунок потокорозподілу для ряду базових режимів. Отримання таких даних має сенс у тому випадку, коли при розрахунках отримують результати, точність яких є достатньою для прийняття рішень стосовно структури та складу елементів проектованої системи. Паливні системи літаків є багаторежимними об'єктами. Тому для забезпечення точності розрахунків необхідно використовувати всережимні моделі процесів в елементах системи. А оскільки для багатьох типів елементів такі моделі є різними, то у вхідній інформації про структуру та склад системи, що підлягає розрахунку, слід передбачати можливість їх задання. Це передбачає вирішення завдань стосовно структуризації даних про конструктивні та інші необхідні дані для типових елементів.

### **Постановка задачі**

В моделях типових елементів, що використовуються в розподільчих мережах паливної системи, в якості параметрів є конструктивні дані елементів та відомі дані експериментальних досліджень. Тому при формуванні системи вхідних даних для задачі розрахунку потокорозподілу необхідна структуризація даних, зручна при їх використанні в програмних додатках. В даному дослідженні розглядаються загальні ідеї структуризації та варіант структури інформації про конструктивні дані ряду типових елементів паливної системи літаків.

### **Вирішення задачі**

Паливна система літаків – розподільча гідравлічна система, розрахункова схема якої завжди може бути представлена графом. Вузлами графа є всі місця злиття та розлиття потоків, а також граничні вузли. До

множини вузлів також можуть бути віднесені ряд контрольних точок. Відповідно гілки графа – це елементи з одним входом і одним виходом.

Серед множини вузлів в більшості випадків зустрічаються трійники. Іншими типовими елементами є струменеві насоси (ежектори). Вузлами є також баки. Кожен з вузлів – це єдиний типовий елемент відомої конструкції.

На відміну від вузлів кожна з гілок може містити довільне число ряду типових елементів, хоча можливі випадки, коли деякі з типових елементів можуть бути використані лише один раз. До типових елементів, для яких не передбачаються обмеження щодо їх кількості в гілках, відносяться: труби круглого та некруглого перерізів, повороти таких труб, дроселі, звуження і розширення перерізу труб, блок, для якого визначається коефіцієнт опору. тз гілок, – це насос, кран, обернений клапан. Таке обмеження пов'язано з тим, що режим роботи таких елементів може бути різним і для кожного з режимів існує своя математична модель процесів в них. Тому для задання режиму їх роботи в режимних даних використовується інформація про гілку, в якій знаходиться елемент. До елементів, що можуть використовуватися всього один раз, відносяться також входи в розподільчу систему та виходи з неї.

*Параметри моделей для типових елементів – вузлів та формування структури інформації про них.* Серед типових варіантів вузлів розглянемо трійники та ежектори, для яких можуть бути використані різні моделі гідравлічних процесів [1 – 5], в залежності від наявної інформації та особливостей конструкції.

*Трійники з розрахунком коефіцієнтів опору і кутом  $90^\circ$*  (тип трійника 1). Трійник – це вузловий елемент, в якому з'єднані три трубопроводи. Для трійників виділяють три складові елементи: збірний рукав, прямий прохід та бокове відведення. У випадку трійника, що розглядається, приймається умова, що для конструктивного бокового відведення для діаметра трубопроводу, що йому відповідає, не накладаються обмеження. Для інших двох елементів вважається, що діаметри трубопроводів, які їм відповідають, повинні бути рівними. Тому для цього типу трійника важливо задати таку інформацію: ознака того, що елемент є трійником з розрахунком коефіцієнтів опору і кутом  $90^\circ$ , діаметри трубопроводів та виділити спеціальним чином конструктивне бокове відведення.

*Трійники з розрахунком коефіцієнтів опору і кутом менше  $90^\circ$*  (тип трійника 2). Як і для попереднього типу трійника, для трійника, що розглядається, приймається умова, що для конструктивного бокового відведення для діаметра трубопроводу, що йому відповідає, не накладаються обмеження. Для інших двох елементів вважається, що діаметри трубопроводів, які їм відповідають, повинні бути рівними. При цьому менший за  $90^\circ$  кут – це кут між конструктивними складовими елементами трійника прямий прохід та бокове відведення. Тому для цього типу трійника важливо задати таку інформацію: ознака того, що елемент є трійником з розрахунком коефіцієнтів опору і кутом менше  $90^\circ$ , діаметри трубопроводів та виділити спеціальним

чином конструктивне бокове відведення та прямий прохід.

*Трійники з відомими коефіцієнтами опору* (тип трійника 3). Для даного типу трійника важливо знати тільки діаметри трубопроводів, що утворюють трійник, та коефіцієнти опору, що їм відповідають.

Для всіх типів трійників можна скористатися тим, що діаметри трубопроводів, які утворюють трійник, це діаметри найближчих до вузла елементів відповідних гілок. У випадку трійників з відомими коефіцієнтами опору в якості такого елемента можна використати елемент труба з відомим діаметром, довжиною та додатковим коефіцієнтом опору. А це дозволяє сформувати єдину універсальну структуру даних про всі три типи трійників, в якій використано всього три значення: значення кута, розміщення конструктивного бокового відведення та конструктивного прямого проходу. Тому для вузла  $u$  розрахункової схеми гідравлічної мережі, якому відповідає один з типів трійника задається:

тип трійника 1: кут  $90^\circ$ , вузол  $v_b$ , який на розрахунковій схемі утворює з вузлом  $u$  конструктивне бокове відведення, число нуль;

тип трійника 2: кут  $\alpha < 90^\circ$ , вузол  $v_b$ , який на розрахунковій схемі утворює з вузлом  $u$  конструктивне бокове відведення, вузол  $v_n$ , який на розрахунковій схемі утворює з вузлом  $u$  конструктивний елемент прямий прохід;

тип трійника 3: число 0, довільне додатне число, число нуль.

*Ежектори з розрахунком за конструктивними параметрами.* Ежектор – це вузловий елемент, в якому з'єднані три трубопроводи, де за рахунок високої енергії потоку, що поступає через сопло, здійснюється перекачка рідини через лінію ежекції. Обидва потоки об'єднуються в камері змішування після чого рідина поступає розподільчу систему при значення тиску, що перевищує його величину для лінії ежекції. Для ежекторів важливо виділяти кожен з елементів пристрою: сопло, лінію ежекції та камеру змішування. Важливо також задати значення діаметрів для всіх цих елементів. Окремо необхідно також задати значення параметрів, що використовуються в моделі гідравлічних процесів. Тому для ежектора необхідно задавати: ознаку того, що елемент є ежектором типу 1, розміщення на розрахунковій схемі сопла та камери змішування, діаметри елементів та значення для чотирьох параметрів моделі.

При аналізі перерахованих даних можна відмітити, що більшість з цих значень – це конструктивні дані про ежектор, які можуть бути виділені окремо, наприклад в бібліотечних даних про насоси. Тоді в даних про вузол – ежектор задається інформація:  $(180+n/100)$  (кут  $180^\circ$  – ознака ежектора,  $n$  – номер характеристики в бібліотеці даних про насоси), вузол  $v_c$ , який на розрахунковій схемі утворює з вузлом  $u$  конструктивне сопло, вузол  $v_{kc}$ , який на розрахунковій схемі утворює з вузлом  $u$  конструктивний елемент камера змішування. Відповідно в даних бібліотеки насосів вказується: назва насоса, тип насоса, діаметр сопла, діаметр камери змішування, коефіцієнти опору для сопла, лінії ежекції та камери змішування, розраховані на їх площі перерізу, а

також коефіцієнт, що визначає значення параметру, на основі якого обчислюється напірна характеристика ежектора.

*Ежектори з розрахунком за напірними характеристиками.* Якщо для ежектора відомі експериментальні дані про напірну характеристику, то в математичній моделі використовуються фіксовані значення параметрів, а величина напору визначається за експериментальними даними. Тому для цього типу ежектора змінюється структура та склад інформації. Тоді до необхідних даних, які слід задавати, відносяться:  $(180+n/100)$  (кут  $180^\circ$  – ознака ежектора,  $n$  – номер характеристики в бібліотеці даних про насоси), вузол  $v_c$ , який на розрахунковій схемі утворює з вузлом  $u$  конструктивне сопло, вузол  $v_{кв}$ , який на розрахунковій схемі утворює з вузлом  $u$  конструктивний елемент камери змішування. Відповідно в даних бібліотеки насосів вказується: назва насоса, тип насоса, діаметр сопла, діаметр камери змішування, та дані, що характеризують експериментальні дані про напір. Характеристики напору можуть бути одновимірні та двовимірні. Якщо вони одновимірні, то задається таблиця, в якій кожному значенню витрати через лінію ежекції вказується значення напору. Якщо ж двовимірні, то при фіксованому значенні витрати через сопло задається інформація про напір для одного і того ж числа значень витрати через лінію ежекції, а також величина втрат тиску для заданих витрат через сопло, що задається одновимірною характеристикою. В початковій інформації про ежектор вказується кількість значень витрат через лінію ежекції, кількість значень витрати через сопло для двовимірної характеристики та кількість значень витрати через сопло для одновимірної характеристики.

*Параметри моделей для типових елементів гілок та формування структури інформації про них.* В математичних моделях гідравлічних процесів в елементах гілок використовується різна інформація. До найбільш часто використовуваних даних відносяться: діаметр  $D$  труби круглого перерізу, площа  $F$  та гідравлічний діаметр  $d_{гдр}$  труби некруглого перерізу, довжина  $L$  труби круглого чи некруглого перерізів, кут  $\alpha$  та відношення  $R/D$  радіуса повороту до діаметра труби для поворотів таких труб, діаметри широкого  $D$  та вузького  $d$  перерізів для дроселів, менше  $d$  та більше  $D$  значення діаметрів для елементів звуження і розширення перерізу труб, коефіцієнт опору  $\zeta$ . Для кожного з типових елементів гілок використовується також ознака елемента. На основі таких далі представлена інформація про ознаку елемента та необхідні конструктивні дані.

Труба круглого перетину з додатковим коефіцієнтом опору: ознака – значення коефіцієнта опору  $\zeta \geq 0$ ;  $D$ ;  $L$ . Значення додаткового коефіцієнта опору для елементів, що не відносяться до типових, визначається за даними експериментів чи наявних довідкових матеріалів, наприклад, [1].

Труба некруглого перетину з додатковим коефіцієнтом опору: ознака – значення коефіцієнта опору  $\zeta \geq 0$ ;  $-k$ , де  $k$  – порядковий номер рядка в додатковому масиві, в якому вказано  $F$  та  $d_{гдр}$  труби некруглого перерізу;  $L$ .

Поворот труби круглого перетину: ознака та кут повороту –  $(9+\alpha/1000)$ ;  $D$ ;  $R/D$ .

Поворот труби некруглого перетину: ознака та кут повороту –  $-(9+\alpha/1000)$ ;  $-k$ , де  $k$  – порядковий номер рядка в додатковому масиві, в якому вказано  $F$  та  $d_{\text{гидр}}$  труби некруглого перерізу;  $R/b$  ( $b$  – ширина труби не круглого перетину).

Дросельна шайба: ознака –  $\zeta = -3$ ;  $D$ ;  $d$ .

Обернений клапан: ознака –  $\zeta = -(25 + D)$ ;  $\zeta$  для відкритого оберненого клапана;  $\zeta / 10^9$  – для закритого оберненого клапана.

Насос: ознака  $-(15+n/1000)$ , де  $n$  – порядковий номер характеристики насоса (не ежектор);  $D$ ;  $d$ .

Кран: ознака  $-21$ ;  $D$ ;  $\zeta$ .

Звуження перерізу труб: ознака  $-2$ ;  $D$ ;  $d$ .

Розширення перерізу труб: ознака  $-4$ ;  $D$ ;  $d$ .

## Висновки

Формування структури вхідних даних є одним з важливих завдань, які вирішуються при розробці програмних додатків. В результаті проведеного аналізу показано, що як у випадку вузлів так і елементів гілок графа розрахункової схеми гідравлічної розподільчої мережі можливе задання інформації, при якому кожному з елементів виділяється в основному три клітинки масиву. Якщо ж обсяг інформації більший, то наведено способи використання додаткових масивів даних стосовно таких елементів як насоси, ежектори, труби не круглого перетину та їх повороти. Це забезпечує відносну простоту оперування з типовими елементами при їх моделюванні при вирішенні задачі розрахунку поточкорозподілу та отримання даних про значення витрат, температур та тисків в довільній точці розподільчої мережі паливної системи літака.

1. *Идельчик И.Е.* Гидравлические сопротивления. Изд. 3-е, перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1992, 559 с.
2. *Кондращенко В.Я., Винничук С.Д., Федоров М.Ю.* Моделирование газовых и жидкостных распределительных систем. – Киев: Наукова думка, 1990. – 184 с.
3. *Винничук С.Д.* Методы и алгоритмы решения задач анализа, проектирования и управления распределением потоков в гидравлических распределительных системах: дис. д-ра техн. наук: 01.05.02. – Ин-т проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова НАН Украины, Киев, 2006. – 305 с.
4. *Соколов Е.Я., Зингер Н.М.* Струйные аппараты. – 3-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 352 с. ISBN 5-283-00079-6.
5. *Винничук С.Д., Козюк О.І.* Визначення параметрів моделі гідравлічних процесів в ежекторах. // Міжнародна наукова конференція «МОДЕЛЮВАННЯ 2018». – Збірник праць конференції. – К., 2018. – С.98-102

<http://doi.org/10.5281/zenodo.3860736>

Поступила 10.10.2019р.