

Розрахунок параметрів потокорозподілу газу в газотранспортній системі (стаціонарний випадок)

Назар Притула

м. н. с., Центр математичного моделювання ІППММ ім. Я. С. Підстригача НАН України, вул. Дж. Дудасва, 15, Львів, Україна, 79005, e-mail: prytula@cmm.lviv.ua

Розглянуто математичні моделі основних елементів газотранспортної системи (ГТС), які покладено в основу моделі ГТС, призначеної для розрахунку параметрів транспортування газу й оптимізації його потокорозподілу. Розроблені алгоритми розв'язування задачі розрахунку режимів роботи ГТС покладено в основу створених засобів, призначених для автоматизованої побудови симуляційної моделі, її числової реалізації та аналізу на основі отриманих розв'язків параметрів потокорозподілу газу в реальних газотранспортних мережах.

Ключові слова: математична модель, метод розв'язування, потокорозподіл, газотранспортна система.

Вступ. В Україні діє складна система взаємозв'язаних магістральних газопроводів. Лінійні ділянки (ЛД), які з'єднані трубами-перемичками з встановленими на них кранами, одно- чи багатощаблеві компресорні станції (КС) з однотипними чи різнотипними газоперекачуючими агрегатами (ГПА), що оснащені арматурою регулювання тиску, витрат, зміни поперечного перерізу трубопроводу тощо, та інші технологічні елементи газопроводів утворюють цілісний інженерний об'єкт, який можна віднести до класу нелінійних систем із розподіленими параметрами. Для ГТС характерні багаторівневість мережевої структури, значні розміри та часи релаксації збурень, розподілені та дискретні керуючі впливи, високий ступінь невизначеності як внутрішніх параметрів, так і зовнішніх чинників. ГТС обмінюється з довкіллям масою, імпульсом і енергією. Окремі складові ГТС взаємодіють між собою, а тому зміна режиму роботи окремої ділянки веде до зміни режиму всієї системи. Тож, розрахунок параметрів функціонування таких систем є складною математичною проблемою. Її розв'язання вимагає побудови адекватних математичних моделей окремих об'єктів ГТС і розробки відповідних алгоритмів для забезпечення необхідної точності обчислень параметрів газових потоків.

Гідравлічний розрахунок газопроводів ґрунтується на математичній моделі мережі, поданій у вигляді графа. Для нього будують систему рівнянь, яка включає співвідношення, що враховують баланс витрат у його вершинах, а також рівняння, які пов'язують відповідні параметри стану φ_i та φ_j у сусідніх вершинах i та j , з'єднаних ребром. Кожне ребро характеризується витратою q і напором H (перепадом тиску). За параметр φ_i часто вибирають квадрат тиску у відповідній

вершині, тобто $\varphi_i = P_i^2$. Тоді для горизонтальних ділянок газопроводів співвідношення, що пов'язує параметри стану у сусідніх вершинах, має вигляд [1]

$$P_i^2 - P_j^2 = aq|q|,$$

де a — параметр, який залежить від трубопроводу та параметрів стану газу у вузлах i та j , а також витрати q . У процесі розрахунку цей параметр ітераційно уточнюють. Для компресорних станцій, натомість, приймають, що $a_m P_i^2 - P_j^2 = b_m q^2$, де a_m, b_m — характеристики КС [2].

Слід зазначити, що відомі алгоритми розрахунку газотранспортних мереж [3] дозволяють здійснювати розрахунок мереж порівняно невеликого масштабу, кількість трубопроводів у яких не перевищує декількох сотень. Це зумовлено, в основному, нелінійністю відповідних систем рівнянь. Разом із тим у реальних задачах виникає потреба здійснювати гідравлічний розрахунок газових мереж, які містять десятки тисяч трубопроводів.

У роботі розглянуто математичні моделі основних об'єктів ГТС і газотранспортної системи загалом. Модель ГТС призначена для розрахунку параметрів руху газу й оптимізації його поточкорозподілу. У рамках моделі розглянуті задачі термогідравлічних розрахунків параметрів ГТС. Структура ГТС подана у вигляді графа, що дало можливість автоматизувати процес формування відповідних систем алгебраїчних рівнянь стосовно параметрів поточкорозподілу.

1. Математична модель структури ГТС

Математичною моделлю структури ГТС є частково орієнтований без петель, необов'язково зв'язний граф $G = (V, E)$, який складається із скінченної кількості елементів вершин і ребер. Кожне ребро визначається парою вершин. Для позначення вершин графа будемо використовувати символи v_1, v_2, \dots, v_n , а для ребер — їх пари (v_i, v_j) . Ребра з однаковими вершинами називають паралельними. Якщо вершини v_i і v_j з'єднані лише одним ребром, то це ребро будемо позначати також (i, j) .

Вершинами графа $G = (V, E)$ ГТС є місця з'єднання трубопроводів і різнотипних об'єктів, поворотів, відгалужень, притоку чи відбору газу, а всі інші об'єкти, які характеризуються протяжністю, називають ребрами (трубопроводи, КС, запірні та регулюючі арматури, апарати повітряного охолодження (АПО), сепаратори тощо).

Означимо операції над графами, які необхідні для побудови математичної моделі ГТС. Об'єднанням графів G_1 і G_2 ($G_1 \cup G_2$) є граф $G_3 = (V_1 \cup V_2, E_1 \cup E_2)$. Перетином графів G_1 і G_2 ($G_1 \cap G_2$) є граф $G_3 = (V_1 \cap V_2, E_1 \cap E_2)$. Пара вершин v_i і v_j у графі G замикається (ототожнюється), якщо цю пару можна замінити такою новою вершиною, що всі ребра, інцидентні v_i і v_j у графі G , стануть інцидентними новій вершині. Під стягуванням у графі G будемо розуміти операцію

викидання ребра (v_i, v_j) та ототожнення вершин v_i і v_j . Граф G є стягуваним до графа H , якщо H можна одержати з G послідовністю стягувань.

Вказані операції необхідні, насамперед, для зменшення розмірності систем рівнянь, які описують процеси в ГТС. Результатом проведення операцій над графом є зменшення кількості елементів у графі, що, своєю чергою, впливає на розмірність відповідної системи рівнянь моделі. Окрім цього це дозволяє покращити збіжність методу їх розв'язування.

2. Моделі основних об'єктів ГТС

2.1. Рівняння стану природного газу. Для природного газу рівняння стану записують у вигляді [2]

$$P = \rho z R T,$$

де z — коефіцієнт стиснення, який враховує відмінність природного газу від ідеального; ρ — густина газу; $R = R_u / M_m$, де R_u — універсальна газова стала; M_m — молярна маса; T — температура газу. Відзначимо, що величини ρ і z є емпіричними функціями мольних часток компонент x_1, x_2, \dots, x_n газу, тобто

$$\rho = \rho(P, T, x_1, \dots, x_n), \quad z = z(P, T, x_1, \dots, x_n).$$

2.2. Математична модель стаціонарного неізотермічного режиму руху газу ділянкою трубопроводу. Термодинамічний стан газу визначаємо значеннями тиску P та температури T , які для ділянки (i, j) трубопроводу у стаціонарному випадку визначаються з системи рівнянь [4-7]

$$\begin{cases} \frac{dP}{dx} + \frac{d(\alpha \rho v^2)}{dx} + \lambda \frac{\rho v^2}{2 D_f} + g \rho \frac{dh}{dx} = 0, \\ \frac{d}{dx} \left[\rho v \left(E + \frac{P}{\rho} \right) \right] - \frac{4K(T_{gr} - T)}{D_i} + \rho v g \frac{dh}{dx} = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Тут v — швидкість руху газу; D_f — внутрішній діаметр трубопроводу; K — коефіцієнт теплопередачі від трубопроводу до ґрунту; h — висота залягання трубопроводу; E — повна енергія одиниці маси газу; λ — коефіцієнт гідравлічного опору; α — коефіцієнт Коріоліса; T_{gr} — температура ґрунту; g — прискорення вільного падіння; x — біжуча координата $x \in [0, l]$; l — довжина трубопроводу; D_i — коефіцієнт Джоуля-Томсона.

Зазначимо, що коефіцієнт гідравлічного опору λ залежить від коефіцієнта шорсткості внутрішньої стінки трубопроводу K_s і внутрішнього діаметра трубопроводу D_f та числа Рейнольдса, тобто $\lambda = \lambda(\text{Re}, D_f, K_s)$.

Введемо позначення: $P(0) = P_i$, $P(l) = P_j$, $T(0) = T_i$. Розв'язок системи рівнянь (1) для ділянки газопроводу (i, j) подамо у вигляді $P(x) = \varphi_1(P_i, T_i, q_{ij}, x)$,

$T(x) = \varphi_2(P_i, T_i, q_{ij}, x)$, q_{ij} — витрата газу на ділянці (i, j) . Якщо тиск і температура на вході ділянки трубопроводу відомі, то розв'язок системи рівнянь (1) з усередненими характеристиками має вигляд [4]

$$P_i^2 e^{-bc} - P^2(x) = -\bar{\lambda} z \frac{gR\bar{T}}{D_f} \left(\frac{M}{S}\right)^2 x \frac{1 - e^{bc(x)}}{b}, \quad (2)$$

$$T = T_{gr} - [T_i - T_{gr}] e^{-\gamma} + \bar{D}_i \frac{P_i^2 - P_j^2}{2\gamma\bar{P}} (1 - e^{-\gamma}) + \frac{g\Delta h}{\bar{c}_p \gamma} (1 - e^{-\gamma}), \quad (3)$$

де M — масова витрата газу ($M = \rho v S$), S — площа поперечного перерізу трубопроводу, \bar{D}_i — середнє вздовж ділянки значення коефіцієнта Джоуля-Томсона; \bar{c}_p — усереднене значення ізобарної теплоємності, $\gamma = \pi K D_f l / \rho_c q_{ij} \bar{c}_p$ — коефіцієнт Шухова, ρ_c — густина газу у стандартних умовах, Δh — різниця висотних відміток початку та кінця трубопроводу, $b = 2g\Delta h / (zRT)$ — коефіцієнт. Тут і надалі риска над відповідним параметром означає його середнє значення. Останній доданок у формулі (3) враховує вплив сил тертя на розподіл температури вздовж трубопроводу. Параметр

$$c = 1 + \frac{D\alpha}{\lambda x} \ln \frac{2g\Delta h D_f + \lambda x v^2(x)}{2g\Delta h D_f + \lambda x v_i^2},$$

який входить у формулу (2), враховує вплив зміни лінійної швидкості на даній ділянці трубопроводу.

Із співвідношення (3) отримуємо середню температуру газу в похилому газопроводі

$$\bar{T} = T_{gr} + [T_i - T_{gr}] \frac{1 - e^{-\gamma}}{\gamma} - D_i \frac{P_i^2 - P_j^2}{2\gamma\bar{P}} \left(1 - \frac{1 - e^{-\gamma}}{\gamma}\right) - \frac{g\Delta h}{\bar{c}_p \gamma} \left(1 - \frac{1 - e^{-\gamma}}{\gamma}\right).$$

Розрахунок поточкорозподілу в газотранспортних системах із великою кількістю трубопроводів вимагає побудови швидких методів розв'язування системи (1). Для цього проводять спрощення цієї системи рівнянь, зокрема, нехтують окремими її складовими.

2.3. Математичний опис газоперекачуючого агрегату (ГПА). Робота W , виконана компресором, змінює кінетичну та потенціальну енергію газу, яка в подальшому витрачається на теплообмін і подолання сил тертя. Наближено приймемо,

що $W = \int_{v_1}^{v_2} P dv$, де v — питомий об'єм газу.

Потужність цієї роботи у випадку політропних процесів можна записати у вигляді [2]

$$N_{\text{пол}} = \frac{am}{m-1} P_i Q_i \left[\left(\frac{P_j}{P_i} \right)^{(m-1)/m} - 1 \right],$$

де a — емпіричний коефіцієнт, m — показник політропи, Q_i — об'ємна витрата газу на вході.

Режими роботи КС у реальних умовах експлуатації є змінними. Вони узгоджуються з роботою прилеглих ділянок магістральних газопроводів. Основні характеристики компресорів — об'ємна продуктивність (витрата) Q_i , тиск газу на вході P_i та виході P_j , комерційна продуктивність Q (витрата газу за нормальних умов), степінь стискування ε , внутрішня (індикаторна) потужність компресора N_i , ефективна потужність $N_e = N_i + N_m$ (N_m — механічні втрати потужності) і політропний коефіцієнт корисної дії $\eta_{\text{пол}}$.

Характеристики відцентрових нагнітачів (ВН) ГПА визначають на основі експериментальних даних, оскільки методик теоретичного розрахунку досі не існує. У реальних умовах ВН працюють у широких діапазонах зміни параметрів як витрат, так і тиску (суттєво відмінних від номінальних). Неврахування цього факту приводить до значних похибок при розрахунках режимів роботи ВН. Тому ефективними є методики використання приведених характеристик для ВН. Перелічені вище параметри пов'язані такими співвідношеннями [2]

$$\varepsilon = \Phi_3 \left(Q_n \frac{n_H}{n}, \left[\frac{n}{n_H} \right]_{\text{np}} \right), \quad \eta_{\text{пол}} = \Phi_4 \left(Q_n \frac{n_H}{n} \right), \quad \frac{N_i}{\gamma_H} \left(\frac{n_H}{n} \right)^3 = \Phi_5 \left(Q_n \frac{n_H}{n} \right),$$

де $\left[\frac{n}{n_H} \right]_{\text{np}} = \frac{n}{n_H} \sqrt{\frac{z_{\text{np}} R_{\text{np}} T_{\text{np}}}{z R T}}$; $Q_n = \frac{n_H}{n} Q$; $z_{\text{np}}, R_{\text{np}}, T_{\text{np}}$ — параметри газу, при

яких експериментально визначені характеристики нагнітача; γ_H — питома вага газу за стандартних умов ($P = 0,1033$ МПа; $T = 293$ К); n_H — номінальні оберти нагнітача, Φ_k ($k = \overline{3,5}$) — емпірично встановлювані функції.

Приведені характеристики дозволяють враховувати: відхилення параметрів газу на вході нагнітача (z, R, T_i) від їх приведених значень ($z_{\text{np}}, R_{\text{np}}, T_{\text{np}}$), відхилення фактичної частоти обертання нагнітача n від його номінального n_H значення. Температура газу T_j на виході нагнітача обчислюється за формулою $T_j = T_i \varepsilon^{(m-1)/m} z_i / z_j$, яка випливає з рівнянь політропного процесу $P_j \rho_j^{-m} = P_i \rho_i^{-m}$ і рівняння стану реального газу $P = z \rho R T$.

ГПА складається з приводу та нагнітача. Привід з'єднаний із нагнітачем муфтою. Після розрахунку ВН проводять розрахунок приводу ГПА. Для приводу ГПА визначено емпіричні співвідношення для розрахунку наявної потужності та затрат паливного газу. Режим ВН вважається реальним, якщо його потужність разом із механічними втратами на муфті приводу є меншими від наявної потужності приводу.

Для встановлення робочих параметрів ГПА проводять розрахунок: режимно-енергетичних параметрів (тиск і температуру газу на виході ГПА, а також затрати паливного газу); параметрів газового потоку на виході нагнітача; області допустимих змін параметрів ГПА; продуктивності нагнітачів і частоти обертів, за яких забезпечується перекачування газового потоку із заданими режимними параметрами; параметрів технічного стану нагнітачів і їх приводів згідно заміряних даних.

2.4. Модель компресорної станції. Технологічна схема компресорної станції складається з декількох цехів із різною кількістю різнотипних ГПА і включає велику кількість технологічного обладнання (апарати повітряного охолодження — АПО, різного типу звужуючі пристрої, запірну арматуру, пристрої очистки й осушки газу). Формалізація технологічної схеми КС може бути різною, залежно від сформульованих завдань. У модель КС доцільно включати лише ті об'єкти, які суттєво впливають на параметри поточкорозподілу через КС. При цьому враховують особливості технологічної схеми КС і режимів її експлуатації, включаючи можливість виникнення помпажу, коли $(dP/dq)_k$ компресора менше від $(dP/dq)_m$ мережі, в яку компримують газ. Усі гідравлічні опори до ГПА та від ГПА до виходу з КС можна з достатньою для практичних розрахунків точністю врахувати інтегрально.

Вихідними даними для моделювання транспортування газу через КС є: втрати тиску $\Delta P_i = \varphi_6(Q, Q_i, P_i, T_i)$ від входу КС до входів ГПА і $\Delta P_j = \varphi_7(Q, Q_j, P_j, T_j)$ від виходу з ГПА до виходу з КС, із врахуванням втрат в об'язках ГПА; паспортні або реальні характеристики всіх ГПА; об'ємна чи масова витрата на вході КС; температура T_i та тиск P_i природного газу на вході КС. У втратах ΔP_i до і ΔP_j після ГПА враховані втрати тиску на апаратах очистки, осушки й охолодження газу.

При моделюванні усталених режимів роботи КС повинні виконуватися такі обмеження для кожного ГПА: на положення робочих точок на характеристиках ВН (для забезпечення безпомпажної роботи ГПА); на максимальну об'ємну продуктивність ВН; на частоту обертання валу ВН ($n_{\min} \leq n \leq n_{\max}$); на максимальну потужність газотурбінної установки ГПА; на максимальний вихідний тиск ВН, який визначається міцністю трубопроводів на виході ВН; на максимальну температуру на виході ВН, яка визначається ізоляційним покриттям трубопроводів; на мінімальне значення тиску на виході кожного ВН; на умови, пов'язані із заданою ступінню стійкості роботи ГПА (віддаленість від зони помпажу); на умови узгодженості схеми з'єднання ВН з підвідними та відвідними шлейфами та магістральними газопроводами. Потік газу до та після ГПА (до АПО) можна вважати ізотермічним.

Характеристики АПО пов'язані між собою співвідношенням

$$\varphi(\vec{A}, T_i, T_j, t_p, Q, n_1, n_2) = 0,$$

де \vec{A} — вектор технічних й емпіричних параметрів АПО, T_i, T_j — температура газу на вході та виході АПО, t_p — температура повітря, Q — витрата газу через

АПО, n_1 — кількість секцій АПО, n_2 — кількість працюючих вентиляторів, а вигляд функції ϕ наведено в [8].

Для всіх АПО існує обмеження на вихідну температуру газу T_j . Найчастіше за розрахункові параметри приймають T_j і m . При цьому втрати тиску та зміна температури на кранах, пиловловлювачах, сепараторах і місцевих опорах визначаються за формулою Вейсбаха [3]

$$\Delta P = P_j - P_i = \frac{1}{2} \zeta \rho v^2.$$

Коефіцієнт опору ζ є різним для різних типів місцевих опорів і об'єктів. Він залежить також від режиму руху газу. Враховуючи малу протяжність об'єктів і місцевих (локальних) опорів, вихідну температуру можна обчислити за однією із формул

$$T_j = T_i - D_i(P_i - P_j), \quad T_j = T_i \frac{z_i}{z_j} \left(\frac{P_j}{P_i} \right)^{\frac{k-1}{k}}. \quad (4)$$

Перед початком розрахунку КС потрібно сформулювати технологічну схему її роботи. Розрахунок кількості ГПА у кожному цеху КС і відповідних параметрів роботи кожного ГПА проводиться на основі заданих чи обчислених вхідних даних. У реальних умовах функціонування КС виникають оптимізаційні задачі розрахунку таких параметрів роботи КС, для яких енергетичні затрати є мінімальними при заданій надійності роботи. Важливою є також задача знаходження такого режиму роботи КС, який би не вимагав зміни схеми ввімкнення ГПА, або мінімізував їхню кількість при заданих межах зміни вхідних та вихідних тисків.

3. Моделювання поточкорозподілу в ГТС

Для математичної постановки задачі температурного та гідравлічного розрахунку ГТС, структура якої описується графом $G(V, E)$, введемо наступні позначення. Множину всіх ребер графа E розіб'ємо на підмножини (типи) $E = M \cup L \cup K$, де M, L, K — відповідно множини ділянок із трубопроводів, газоперекачувальних агрегатів, запірної та регулюючої арматури.

Систему рівнянь математичної моделі стаціонарного неізотермічного режиму транспортування та перерозподілу природного газу в ГТС запишемо так

$$P(x) = \phi_1(P_i, T_i, q_{ij}, x), \quad T(x) = \phi_2(P_i, T_i, q_{ij}, x) \quad (i, j) \in M; \quad (5)$$

$$P_j = \phi_8(q_{ij}, T_i, P_i), \quad T_j = \phi_9(T_i, P_i, P_j, \eta_{ij}, X),$$

$$Q_i^- = \phi_{10}(P_j, T_j) \quad (i, j) \in L; \quad (6)$$

$$P_j - P_i = \Delta P = \phi_{11}(\rho, v, \zeta), \quad T_j = \phi_{12}(T_i, \Delta P, D_i) \quad (i, j) \in K; \quad (7)$$

$$\sum_i q_{ij} + \sum_i q_{ji} = 0, \quad j \in V; \quad (8)$$

$$T_j \sum_k q_{jk} - \sum_i q_{ij} T_i = 0, j \in V; \quad (9)$$

$$P \sum_k V_k = \sum_i x_i (PV)_i + \sum_j \sum_k x_j x_k F_{jk}(T, \rho), PV = Rf(T, \rho); \quad (10)$$

$$\sum_{(i,j) \in C_k} (P_i^2 - P_j^2) = 0. \quad (11)$$

Тут Q_i^- — затрати паливного газу, F_{ik} — функція взаємодії компонент газу, які визначають експериментально.

Відомо, що для стаціонарних газових мереж виконуються обидва закони Кірхгофа (8), (11) [3]. Нехай зв'язний граф G має n_G вершин і m_G ребер. З теорії графів відомо, що такий граф має $p = m_G - n_G + 1$ незалежних циклів: C_1, C_2, \dots, C_p . Для кожного циклу задано обхід ребер. Тоді виконання другого закону Кірхгофа означає, що

$$\sum_{(i,j) \in C_k} (-1)^{\varepsilon_{ij}} a_{ij} q_{ij}^2 l_{ij} = 0,$$

де $\varepsilon_{ij} = 1$, якщо орієнтація ребра (i, j) співпадає з напрямком обходу й $\varepsilon_{ij} = 0$ — в іншому випадку, a_{ij} — коефіцієнт гідравлічного опору ребра (i, j) , l_{ij} — довжина ребра (i, j) .

Система рівнянь (5)-(11) доповнюється рівняннями стану газу, і має єдиний розв'язок, якщо додатково задати для всіх працюючих КС одну з величин: відносну частоту обертання валу відцентрованого нагнітача (ВН) кожного ГПА; витрату газу; тиск на вході або на виході; перепад тиску; вектор параметрів стану на кожному АВО; витрату, температуру, тиск і склад природного газу на кожному вході ГТС. Окрім того, на кожному виході ГТС необхідно задати тиск або витрату у відповідних вершинах. Усі відомі на даний час методи температурного та гідравлічного розрахунку ґрунтуються на явному або неявному перетворенні цієї системи рівнянь із метою зниження її порядку.

Таким чином, ми маємо $n-1$ незалежних балансових рівнянь виду (7) і p контурних рівнянь виду (11), тобто систему з m_G рівнянь відносно q_{ij} . Якщо ми визначимо m_G невідомих q_{ij} , то, знаючи тиск P_i в деякій вершині i , знайдемо тиски в усіх інших вершинах. На наступному етапі визначаємо температурний режим роботи ГТС. Для цього потрібно знати температуру газу у вхідних вершинах, закон (4) зміни температури на компресорних станціях і балансові рівняння (9) для всіх вершин графа ГТС. Якщо у вхідних вершинах компонентний склад газу є різним, то проводять ще розрахунок густини газу для ребер графа, використовуючи балансові рівняння (10). Далі, знаючи температуру та густину газу, проводять перерахунок потекорозподілу й тиску у вершинах графа ГТС. Повторивши таку процедуру декілька разів, можна знайти розв'язок системи (2), (3) із потрібною точністю.

Розрахунок режиму роботи ГТС проводять перед його зміною або у разі відхилення обчисленого режиму від реального. Причинами такого відхилення

можуть бути відключення (включення) окремих ГПА, КС, зміна стану запірної чи регулюючої арматури. У кожному із вказаних випадків виникає задача гідравлічного розрахунку та вибору оптимального режиму роботи взаємозв'язаних газопроводів. Критеріями вибору оптимального режиму роботи системи, зокрема, є забезпечення максимально можливої подачі газу всім споживачам (задача на максимальну пропускну здатність газопроводу) або заданої продуктивності при мінімумі енерговитрат на транспорт. При цьому потрібно забезпечити виконання основних технологічних обмежень.

Режим роботи системи магістральних газопроводів визначається: об'ємом газу Q_j^+ , який подається j -им джерелом, і об'ємом газу Q_j^- , який відбирається j -тим споживачем; величинами тиску P_i у визначених місцях системи; розподілом потоків q_{ij} в (i, j) -ій ділянці; параметрами компресорних станцій, а також параметрами лінійних ділянок.

Висновки. З використанням запропонованих підходів і побудованих математичних моделей сформульовані основні задачі розрахунку режимів роботи ГТС, які виникають при її експлуатації. Розроблені алгоритми розв'язування цих задач покладено в основу створених засобів, призначених для автоматизованої побудови симуляційної моделі ГТС, її числової реалізації та аналізу на основі отриманих розв'язків параметрів поточкорозподілу газу в реальних газотранспортних мережах.

Література

- [1] *Логинов К. В., Мызников А. М., Файзуллин Р. Т.* Расчет, оптимизация и управление режимами работы больших гидравлических сетей // Математическое моделирование. — 2006. — Т. 18, № 9. — С. 92-106.
- [2] *Алтишуль А. Д.* Гидравлическое сопротивление. — М.: Недра, 1982. — 224 с.
- [3] *Александров А. В., Яковлев Е. И.* Проектирование и эксплуатация систем дальнего транспорта газа. — М.: Недра, 1974. — 443 с.
- [4] *Михалевич О., П'янило Я., Притула М., П'янило Г.* Аналіз впливу гідравлічних параметрів на процес течії газу в лінійних трубопроводах // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету. — № 1(7). — 2004. — С. 78-85.
- [5] *Павленко В., П'янило Я., Притула М.* Алгоритм гідравлічного розрахунку мереж // Вісник Національного університету «Львівська політехніка»: Комп'ютерна інженерія та інформаційні технології. — Львів. — 2003. — № 496. — С. 172-177.
- [6] *П'янило Я. Д., Притула М. Г., Павленко В. А., Землянський Б. В.* Алгоритм термогідравлічних розрахунків газових мереж // Вісник Національного університету «Львівська політехніка»: Комп'ютерна інженерія та інформаційні технології. — 2004. — № 521. — С. 196-200.
- [7] *П'янило Я., Притула М.* Математичні моделі процесів енергомасопереносу в газовій динаміці. Задачі та аналіз методів їх розв'язування // International workshop on free boundary flows and related problems of analysis. — Kiev. — 2005. — Р. 58-59.
- [8] *Сарданашивили С.А.* Расчетные методы и алгоритмы. . — М.: Изд-во «Нефть и газ», 2005. — 577 с.

Расчет параметров потокораспределения газа в газотранспортной системе (стационарный случай)

Назар Притула

Рассмотрены математические модели основных объектов газотранспортной системы (ГТС), которые положены в основу модели ГТС, предназначенной для расчета параметров транспортировки газа и оптимизации его потокораспределения. Разработанные алгоритмы решения задачи расчета режимов работы ГТС положены в основу созданных средств, предназначенных для автоматизированного построения симуляционной модели, ее числовой реализации и анализа на базе полученных решений параметров потокораспределения газа в реальных газотранспортных сетях.

Calculation of Flow Distribution Parameters in Gas-Transport System (Stationary Flow Case)

Nazar Prytula

Mathematical models for gas transportation system (GTS) basic elements have been considered. On this base a GTS mathematical model destined for calculation of gas transportation parameters and optimization of its distributions in GTS networks has been built. Algorithms for solving of basic problems arising under GTS exploitation have been developed. On the base of these algorithms a system for automated forming of simulation models, their numerical realization and analysis of gas streams in real gas transportation networks has been created.

Отримано 01.06.07