

## Розрахунок параметрів керування потоками газу в магістральних системах

Мирослав Притула

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

*У роботі розглянуто систему транспортування газу, її основні технологічні об'єкти, граф-схеми з технологічних об'єктів, математичну модель газових потоків та основні технологічні обмеження. Наведені критерії оптимізації та принципи оптимального керування газопотоками в умовах відсутності або нечіткого прогнозу вхідних даних. Сформульовано задачу оптимального керування газопотоками. Охарактеризовано основні підсистеми системи формування параметрів керування. Запропоновано алгоритм формування параметрів оптимального керування.*

**Ключові слова:** газотранспортна система, технологічна схема, газодинамічні процеси, критерії оптимального керування, оптимальне керування.

**Вступ.** Досі актуальною є проблема оптимізації нестационарних режимів функціонування газотранспортних систем (ГТС). Це пов'язано зі складністю ГТС, в яку входять десятки тисяч об'єктів, нелінійністю газодинамічних процесів, які розвиваються на значних просторових і часових вимірах, слабкою прогнозованістю вхідних параметрів, суттєвим впливом зовнішніх чинників і недостатнім метрологічним забезпеченням. Із згаданою проблемою тісно пов'язані задачі оперативного оптимального керування газопотоками в ГТС. Слід відзначити, що в напрямку керування нелінійними газодинамічними процесами в складних системах із нечітким прогнозом зроблені перші кроки [1-3]. В умовах нечіткості прогнозування вхідних даних слід розробити певні принципи керування потоками газу — принципи оптимального керування. В реальних умовах область зміни параметрів керування, які задовольняють технологічним обмеженням, є значна [4-12]. В умовах нечіткого прогнозу вибрати з множини параметрів керування оптимальне щодо заданого критерію якості керування в більшості випадків є проблематично. Часто буває достатнім, якщо вдається визначити тільки межі зміни таких параметрів. Зміна параметрів керування, в основному, пов'язується з оперативним станом системи, використанням критеріїв оптимізації та принципів оптимального керування і не вимагає їх точного виконання в повному обсязі.

*Магістральний газопровід (МГ) — послідовне чергування (лінійне без розгалужень) лінійних ділянок і компресорних станцій (КС). До лінійних МГ віднесемо одно- чи багатониткові МГ з однаковим номінальним тиском. Між нитками можливі перемички з системою кранів. Зазвичай, КС на багатониткових МГ є багатоцехові. Існує можливість їх підключення на самостійні нитки. Система*

*магістральних газопроводів* — система декількох газопроводів, які часто можуть працювати на різних номінальних тисках. Вони з'єднані міжсистемними перемичками: або системою кранів редукування чи байпасування, або регуляторами тиску (редуктори) чи витрати (моквелди). Входи/виходи газових потоків системи МГ можуть бути спільні. *Газотранспортна система* — система МГ, яка включає також розгалуження систем магістральних газопроводів. У ГТС виділимо об'єкти керування, які назвемо системними: КС, які є входами/виходами МГ; регулюючу арматуру (крани редукування, байпасування, регулятори тиску та витрати); входи/виходи з регульованими витратами (підземні газосховища).

Будемо вважати, що відбирання газу споживачами в межах країни не є кероване. Відбирання газу споживачами, які знаходяться за межами країни, контролюються контрактними умовами. Газ до споживачів потрапляє через газорозподільні станції, які його редукують до заданого тиску. Підземні сховища працюють у сезонному ритмі — сезон закачування (травень-жовтень) і сезон відбору (листопад-квітень).

## 1. Математична модель газотранспортної системи

Існуюча система видобутку, транспортування, зберігання та розподілу газу об'єднує набір технологічних об'єктів, технічних засобів, систем автоматики з внутрішніми та зовнішніми зв'язками в єдине ціле. Усі технологічні об'єкти умовно поділимо на два класи. До першого класу належать об'єкти, які не мають математичної моделі газового потоку. Їх назвемо інформаційними або розрахунковими. До розрахункових, насамперед, віднесемо газовий потік, який характеризується компонентним складом, густиною, витратою, тиском, температурою, швидкістю потоку. Інші розрахункові об'єкти — джерела, споживачі, у деяких випадках локальні втрати напору газового потоку.

До основних об'єктів, які мають модель технологічного процесу, належать: трубопровід, газоперекачуючий агрегат (ГПА), група ГПА, апарати повітряного охолодження газу, очищення й осушування газу, регулююча арматура за тиском і витратою. Перелічені об'єкти мають початок і кінець, або вхід і вихід. Модель об'єкта дозволяє зв'язати параметри газового потоку на його входах і виходах.

Математична модель ГТС формується на основі математичної моделі структури ГТС, моделей газових потоків у технологічних об'єктах, умов Кірхгофа.

*Математичною моделлю структури ГТС* є частково орієнтований без петель, не обов'язково зв'язний граф  $G = (V, E)$ , який складається із скінченної кількості вершин  $V$  і ребер  $E$ . Кожне ребро визначається парою вершин. Для позначення вершин графа будемо використовувати символи  $v_1, v_2, \dots, v_n$ , а для позначення 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  $(i, j)$ .

Множина  $V$  є об'єднання множин вершин  $V_1, V_2, V_3$ , які називають вхідними, вихідними та внутрішніми відповідно. Внутрішні вершини графа — місця з'єднання трубопроводів і різнотипних об'єктів, поворотів, відгалужень. Вершини  $V_1$  і  $V_2$  є

відповідно притоки та відбори газу. Решта об'єктів, які характеризуються протяжністю, називають ребрами (трубопроводи, КС, запірні та регулюючі арматури, апарати повітряного охолодження, сепаратори тощо).

Граф  $G = (V, E)$  технологічної схеми ГТС подамо як об'єднання незв'язних підграфів  $G_i = (V_i, E_i)$ , які покривають повністю граф  $G = (V, E)$ , за винятком ребер типу КС і за умови, що в кожного з них хоча б один вхід чи вихід є вершина входу чи виходу деякої КС. Кожен із таких підграфів назвемо керованим.

Означимо операції над графами, які необхідні для побудови математичної моделі ГТС. В об'єднанні множин, один і той же об'єкт, незалежно від його типу, входить тільки один раз. 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 ця пара заміняється новою вершиною, такою що всі ребра, інцидентні  $v_i$  і  $v_j$  у графі  $G$ , стають інцидентними новій вершині. Під стягуванням у графі  $G$  будемо розуміти операцію викидання ребра  $(v_i, v_j)$  і ототожнення вершин  $v_i$  і  $v_j$ . Граф  $G$  є стягнаний до графа  $H$ , якщо  $H$  можна одержати з  $G$  послідовністю стягувань. Основна умова стягування й ототожнення — після розрахунку параметрів газопотоків у графі  $H$  можна, із заданою точністю, відновити параметри газопотоків у графі  $G$ .

Вважаємо, що кожен об'єкт типу вершина чи ребро в ГТС мають унікальні номери, які не змінюються у разі перетворення графа  $G$ . Вихідна технологічна граф-схема  $G$  є єдина. Якщо існує інша технологічна граф-схема ГТС, то вона ізоморфна або отримана з  $G$  із застосуванням операцій стягувань. Такі операції необхідні, насамперед, для зменшення розмірності систем рівнянь, які описують газодинамічні процеси в ГТС, та забезпечення кращої збіжності методу їх розв'язування.

*Моделі основних технологічних об'єктів.* Моделі газових потоків у технологічних об'єктах включають параметри таких типів: режимні, стану та керування.

#### 1. Модель газового потоку в трубопроводі

$$\varphi_{ij}(P, T, q, \rho, A_1, \lambda, K_T, x, t) = 0, \quad x \in [0, L], \quad (i, j) \in M.$$

1.1. Обмеження:  $P_{\min}(x) \leq P(x) \leq P_{\max}(x)$ ;  $T_0 \leq T_{\max}$ .

1.2. Параметри стану:  $\lambda(x), K_T(x)$  — коефіцієнт гідравлічного опору та коефіцієнт теплопередачі від труби до зовнішнього середовища відповідно.

#### 2. Модель газового потоку, який проходить через компресорну станцію

$$P_j = \varphi_1(q_{ij}, T_i, P_i, A_2, G, \bar{n}), \quad T_j = \varphi_2(T_i, P_i, P_j, A_3, \eta),$$

$$Q_i^- = \varphi_3(P_j, T_j, A_4, K_s), \quad (i, j) \in L.$$

2.1. Обмеження:  $q_{\min} \leq q_{ij} \leq q_{\max}$ ,  $n_{\min} \leq n \leq n_{\max}$ ,  $T_j \leq T_{\max}$ ,  $N \leq N_{\max}$ .

2.2. Параметри стану:  $\eta, K_s$  — політропічний коефіцієнт корисної дії стиску газу відцентрового нагнітача та коефіцієнт технічного стану приводу ГПА.

2.3. Параметри керування: витрата  $q_{ij}$ , оберти відцентрового нагнітача  $n$ , температура на виході КС  $T_j$ , технологічна схема КС (схема з'єднання ГПА).

*Умови на параметри потоків.* Для вершин, степінь яких більший від одиниці, повинні виконуватися балансові співвідношення:  
рівняння балансу масової витрати для  $j$ -ої вершини графа

$$\sum_i m_{ij} + \sum_k m_{jk} = 0, \quad j \in V;$$

рівняння балансу тепла для  $j$ -ої вершини графа

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

рівняння стану для суміші газу

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

де  $A_i (i = \overline{1, 4})$  — набори відповідних коефіцієнтів, характеристик, обмежень тощо,  $\varphi_i (i = \overline{1, 3})$  — деякі функції, вибір яких залежить від моделі газового потоку для заданого об'єкту,  $q$  — витрата газу,  $\rho = \rho(P, T)$  — густина газу,  $M, L$  — множини ребер у граф-схемі ГТС,  $Q_i^-$  — затрати паливного газу,  $x_i$  — мольні частки компонент газу,  $F_{ik}$  — функція взаємодії компонент газу.

## 2. Формулювання задачі

Розглянемо розрахункову схему ГТС, яка однозначно задається графом її технологічної схеми  $G(V, E)$ , характеристиками технологічних об'єктів, обмеженнями  $s_{ij} \in S$  на газові потоки в об'єктах  $(i, j) \in E$  типу ребро; параметрами стану газу  $\{P_i, T_i\} (i \in V_3), \{Q_j, P_j, T_j, \rho_j\} (j \in V_1)$  і  $\{Q_k, P_k\} (k \in V_2)$  у вершинах технологічної схеми ГТС.

Прогнозний режим на часовому інтервалі часу  $[0, t]$  задається: значеннями тисків в окремих вершинах  $P_i (i \in \{1, 2, \dots, n\})$  або інтервалами їх зміни; плановими змінами станів (закрито–відкрито) кранів; зміною параметрів потоків газу на входах і виходах ГТС; технологічними обмеженнями на параметри газових потоків і параметрами керування; складом контрольованих параметрів; переліком дозволених керувань  $u_{ij} \in U$ ; часовими параметрами керування (середній час виходу ГПА в стаціонарний режим; час необхідний на відкриття чи закриття керованих і некерованих кранів); обмеженнями на швидкість зміни параметрів газових потоків; ціллю керування.

Компонентами  $u_{ij}(t_p, t_k, A_{ij})$  вектора керування  $\vec{u}$  є: зміна стану запірної та регулюючої арматури та (або) продуктивності КС. Тут  $t_p$  — початок керування,  $t_k$  — завершення керування,  $A_{ij}$  — параметри керування.

Режим  $R_s(\vec{u}, s, t) \in R_s$  роботи ГТС на час  $t$  визначається: графом її технологічної схеми  $G(V, E)$ , зосередженими параметрами  $P_i, T_i (i \in V)$ , розподіленими параметрами  $q_{ij}, P_{ij}, T_{ij}, P_{ij}$  для всіх  $(i, j) \in E$  та режимами роботи КС. Усі режимні параметри роботи ГТС повинні знаходитися в технологічно допустимих межах.

*Задача 1.* На інтервалі часу  $[0, t]$  знайти такий вектор керування  $\vec{u}(\{u_{ij}(t_n, t_k, A_{ij})\}, t) \in U$ , для якого виконується  $R_s(\vec{u}, s, t) \in R_s$  і який мінімізує

критерій оптимальності  $W = \int_0^T W(t) dt$ , де  $E(t) = f(\vec{u}, s, t)$  — затрати енергії на режим у кожен момент часу  $t$ .

Основною задачею керування є: мінімізація величини  $W$  за умов забезпечення технологічних обмежень, виконання контрактних умов і забезпечення заданої надійності роботи об'єктів і системи загалом.

Сформулюємо задачу для МГ з  $n$  КС. Вхід/вихід такої системи характеризується параметрами  $(P_0, T_0, q_0, t)$  та  $(P_{2n-1}, T_{2n-1}, q_{2n-1}, t)$  відповідно. Параметри на вході КС і вектор керування однозначно визначають параметри на виході КС і паливно-енергетичні затрати  $q_p$ . Так для  $i$ -ої КС маємо  $P_{2i-1} = P_{2i-1}(P_{2i-2}, T_{2i-2}, q, u_i)$ ,  $T_{2i-1} = T_{2i-1}(T_{2i-2}, P_{2i-2}, P_{2i-1}, u_i)$  та  $q_{pi} = \Phi_i(P_{2i-2}, T_{2i-2}, q_i, u_i)$ .

Адитивна функція цілі для МГ буде мати вигляд

$$\Phi = \sum_{i=0}^n \Phi_i(P_{2i-2}, T_{2i-2}, q_i, u_i), \text{ де } q_i = q_{i-1} - q_{pi}.$$

*Задача 2.* Для відомих умов на входах/виходах МГ  $(P_0, T_0, q_0, t)$  і  $(P_{2n-1}, q_{2n-1}, t)$  знайти такі керування  $\vec{u}_1, \vec{u}_2, \dots, \vec{u}_n$ , щоб функція цілі  $\Phi$  досягала свого мінімального значення, за умови, що всі вхідні та вихідні тиски знаходяться в заданих межах.

*Задача 3.* Для відомого розподілу тисків  $P_0, P_2, \dots, P_{2n-2}, P_{2n-1}$  знайти таке керування  $\vec{u}_1, \vec{u}_2, \dots, \vec{u}_n$ , щоб функція цілі  $\Phi$  досягала мінімального значення.

*Задача 4.* Для заданого сумарного об'єму акумульованого в трубах газу знайти такий розподіл тиску  $P_0, P_2, \dots, P_{2n-2}, P_{2n-1}$  і керування  $\vec{u}_1, \vec{u}_2, \dots, \vec{u}_n$ , щоб функція цілі  $\Phi$  досягала мінімального значення.

Розглянемо множину системних об'єктів керування. Кожна  $j$ -та КС, яка належить цій множині, розподіляє вхідний потік із параметрами  $(q_j, P_j, T_j)$  між МГ з пара-

метрами  $(q_{js}, P_{js}, T_{js})$ ,  $s = \overline{1, m}$ , де  $q_j = \sum_{s=1}^m q_{js} + q_{pj}$ ,  $q_{pj}$  — витрата паливного газу.

Зауважимо, що активну роль у перерозподілі потоків газу в ГТС, у доволі широких діапазонах, відіграють КС. Усі інші, за винятком пристроїв редукування газу з підземних газосховищ, мають пасивну роль. Параметри газового потоку, зазвичай, суттєво залежать від перепаду тисків на їх входах і виходах. Для пасивних об'єктів керування газопотоками витрата газу розраховується таким чином:

- через редуктор проходить газовий потік, витрата якого дорівнює дисбалансу газу між об'ємами поступлення та відбору газу в підсистемі, в якій редуктор є джерело газу (параметр керування — тиск на виході редуктора);
- через пристрої звуження газового потоку витрати газу розраховуються з використанням моделей газових потоків, які проходять через різнотипні пристрої звуження газового потоку. Параметри потоку залежать, в основному, від тисків на їх входах та виходах і співвідношення між діаметрами звуження потоку та діаметрами підвідних і відвідних труб (параметр керування — діаметр пристрою звуження потоку).

Процес розв'язування першої задачі полягає у знаходженні також системних параметрів керування, які б забезпечили на заданому часовому інтервалі мінімальні паливо-енергетичні затрати для функціонування ГТС у заданому режимі.

### 3. Система формування параметрів керування газопотоками

Щоденно у підрозділах і в цілому по ГТС розраховують сумарні об'єми притоків і відборів газу, а також об'єми газу, акумульованого в трубопроводах. На цій основі формують добовий баланс газу. Зазвичай, постійно отримують певний дисбаланс, величина якого є важливою інформацією для прийняття рішень про зміну керування ГТС. Втручання (зміна параметрів керування газопотоками) у процес зміни об'ємів акумульованого газу в підсистемах називають збалансуванням підсистем. Система керування газопотоками включає ідентифікацію фактичних параметрів стану технологічного обладнання й об'єктів; прогнозування та розрахунок параметрів для системи прийняття рішення про керування; оптимального планування режимів транспортування, зберігання та розподілення газу; оптимального балансування потоків газу; формування керування та його регламенту; формування розрахункових схем ГТС; аналіз і інтерпретацію розрахованих величин.

Сформулюємо без обґрунтування деякі принципи оптимального керування за відсутності нештатних ситуацій і нечіткого прогнозування:

- процеси відновлення дисбалансу між об'ємами поступлення та відбирання газу в підсистемах повинні бути в технологічних межах контрольованих параметрів і їх швидкість повинна узгоджуватися зі швидкістю зміни величини дисбалансу як в системі, так і в сусідніх підсистемах;
- кожна зміна керування, на певному проміжку часу, повинна забезпечувати мінімізацію енергетичних затрат;
- на кожному інтервалі часу проводити мінімальну кількість змін (керуючих дій);
- проводити, в першу чергу, такі зміни, які дають найбільший вклад у мінімізацію енергетичних затрат;

- у разі достатньо нечіткого прогнозу на характер зміни вхідних і вихідних параметрів систему підтримувати в технологічних межах за мінімальних змін у ГТС;
- зміни спрямовані на зменшення сумарних енергетичних затрат;
- керування повинно бути таким, щоб швидкість зміни контрольованих параметрів була максимально повільна та їх значення наближалось до середнього значення, яке знаходиться в розрахованих технологічних межах параметрів газодинамічних процесів.

#### 4. Розрахунок параметрів керування

Основним інтегральним показником роботи ГТС є сумарний акумульований об'єм газу  $Q_{\Sigma}(t)$  у системі та його добова зміна  $\Delta Q$ . Оптимальна робота ГТС пов'язана як з величиною  $Q_{\Sigma}(t)$ , так і його розподілом у системі. Дисбаланс газу в системі визначається співвідношенням

$$\Delta Q(t) = \sum_i \left[ \int_0^t (Q_i^+(t) - Q_i^-(t) + Q_i(t)) dt - Q_{\Sigma}(0) + Q_{\Sigma}(t) \right],$$

де  $Q_i^+(t)$  — надходження,  $Q_i^-(t)$  — відбирання,  $Q_i(t)$  — технологічні витрати та безповоротні втрати газу;  $Q_{\Sigma}(t)$  — об'єм акумульованого газу в системі на момент часу  $t$ . Таку ж функцію дисбалансу будемо для всіх керованих підсистем ГТС. За сумарним акумульованим об'ємом газу у підсистемах можна розрахувати середній тиск і швидкість зміни дисбалансу в кожній підсистемі. Це дозволяє побудувати систему збалансування підсистем за певним критерієм, наприклад, підтримання в підсистемах близьких середніх тисків. Параметри збалансування дозволяють сформулювати граничні умови для системи рівнянь на тиски, які можна отримати кількома способами. Один із можливих є такий. У випадку нестационарних режимів транспортування газу для формування системи рівнянь використовують умову балансу газу у вершинах граф-схеми ГТС. Для всіх вершин (за винятком вершин типу притік, відбір, вершин початку та кінця закритих кранів, вершин, у яких задані параметри газу) будемо балансові рівняння

$$\sum_k q_{ki}^i(p_{ki}^i, p_{ki}^k) - \sum_j q_{ij}^i(p_{ij}^i, p_{ij}^j) + Q_i^+ - Q_i^- = 0,$$

де  $q_{ki}^i$  — витрата газу, яка входить у вершину  $i$  з ребра;  $q_{ij}^i$  — витрата газу, яка виходить з вершин  $i$  в ребро  $(i, j)$ .

Ми отримали систему нелінійних рівнянь, яку потрібно розв'язати з урахуванням режимно-технологічних обмежень і заданих та розрахованих гранично-початкових умов. Розв'язування задач формування параметрів керування вимагають розробити моделі й алгоритми для:

- заміни моделі газових потоків на двох сусідніх ділянках газопроводів однією моделлю;

- відкриття та закриття кранів на ділянці газопроводу у наперед визначений час;
- зупинення роботи КС і забезпечення пропуску газу;
- введення в роботу ГПА або КС в цілому;
- перерозподілення балансу газу між підсистемами;
- побудови граничних умов для розв'язування нестационарних задач за заданими критеріями оптимізації;
- термо-гидравлічного розрахунку багатоцехових із різнотипними ГПА КС сумісно з прилеглими газопроводами;
- розрахунку газових мереж в умовах їх нестационарного функціонування.

### 5. Алгоритм побудови параметрів керування

Основні кроки алгоритму побудови параметрів керування подані на рис. 1.

1. Провести ідентифікацію параметрів стану технологічних об'єктів за замірними даними.
2. У граф-схемі  $G(E, V)$  ГТС умовно видалити дуги типу КС. У цьому випадку граф  $G(E, V)$  розпадеться на незв'язні компоненти (підграфи)  $G_i(E, V)$ . Для кожного підграфа  $G_i(E, V)$  розрахувати середній тиск у підсистемах, динаміку зміни об'єму акумульованого в трубах газу.
3. Для кожної КС розрахувати запас її продуктивності, робочу область зміни режимних параметрів і провести перерозподіл витрати газу між цехами (для знаходження мінімальних енергетичних затрат).
4. Для кожного підграфа знайти сумарний запас продуктивності з урахуванням дотискуючих КС.
5. Виходячи з прогнозу поступлення та відбирання, пікових характеристик ПСГ, стану об'єктів, сформувані технологічні межі зміни режимних параметрів роботи ГТС. Динамічні технологічні межі повинні формуватися з урахуванням: темпу зміни інтегральних характеристик як у цілій ГТС, так і її підсистемах, надійності експлуатації обладнання, критерію оптимальності чи принципів оптимального керування.



Рис. 1. Алгоритми формування параметрів керування



6. Формування умов перемикання, зміни керування. Можливими умовами зміни керування  $y_k$  є досягнення межі існування технологічності режиму за одним чи кількома параметрами, або за швидкістю зміни контрольованого параметру. Деякі з умов керування — параметр  $y_k$  знаходиться в області допустимих значень, керування непотрібно; параметр  $y_k$  знаходиться в області керування, керування непотрібно, якщо

$$\frac{\partial y_k}{\partial t} \geq 0, \quad y_k \geq y_{\min}; \quad \frac{\partial y_k}{\partial t} \leq 0, \quad y_k \leq y_{\max};$$

параметр знаходиться в області керування, керування потрібно, якщо

$$\frac{\partial y_k}{\partial t} \geq 0, \quad y_k \leq y_{\max}; \quad \frac{\partial y_k}{\partial t} \leq 0, \quad y_k \geq y_{\min}; \quad \left| \frac{\partial y_k}{\partial t} \right| \geq \varepsilon_y.$$

7. Оцінка ситуації, планування на прогнозний час.

**Висновки.** У роботі запропоновано структуру системи керування, її інформаційну й алгоритмічну підтримку. Запропоновані підходи до формування параметрів керування ГТС, що апробовані на реальних прикладах. Вони дали можливість побудувати швидкі та стійкі алгоритми оптимального оперативного керування газопотоками в ГТС.

## Література

- [1] Панкратов, В. С. Автоматизированная система диспетчерского управления ГТС / В. С. Панкратов, А. С. Вербило. — Москва: Изд-во ООО «ИРЦ Газпром», 2002. — 98 с.
- [2] Сарданашивили, С. А. Расчетные методы и алгоритмы / С. А. Сарданашивили. — Москва: Изд-во «Нефть и газ», 2005. — 577 с.
- [3] Селезнев, В. Е. Методы и технологии численного моделирования газопроводных систем / В. Е. Селезнев, В. В. Алешин, Г. С. Клишин. — Москва: Едиториал УРСС, 2002. — 448 с.
- [4] Бобровский, С. А. Трубопроводный транспорт газа / С. А. Бобровский, С. Г. Щербаков, Е. И. Яковлев. — Москва: Наука, 1976. — 475 с.
- [5] Алгоритми розрахунку гідродинамічних параметрів течії газу в трубопроводах (1) / М. Г. Питула, Я. Д. П'янило, Н. Б. Лопух, Я. Г. Сацула // Вісник Львівського університету. Сер. Прикл. математика і інформатика. — 2007. — С. 57-65.
- [6] Питула, Н. М. Розрахунок параметрів потокорозподілу в газотранспортній системі (стаціонарний випадок) / Н. М. Питула // Фіз.-мат. моделювання та інформ. технології. — 2007. — Вип. 5. — С. 146-157.
- [7] П'янило, Я. Моделювання газотранспортних мереж з урахуванням змінності параметрів стану газу та рельєфу траси трубопроводів / Я. П'янило, Н. Питула, Г. П'янило // Фіз.-мат. моделювання та інформ. технології. — 2008. — Вип. 7. — С. 145-153.
- [8] Розрахунок гідродинамічних параметрів стану об'єктів транспорту газу / С. Гладун, Н. Питула, Б. Землянський, О. Химко // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Комп'ютерні науки та інформаційні технології. — Львів, 2008. — № 629. — С. 92-99.
- [9] Алгоритми розрахунку параметрів течії газу в трубопроводах (2) / Н. Лопух, М. Питула, Я. П'янило, Я. Сацула // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Комп'ютерні науки та інформ. технології. — Львів, 2009. — № 616. — С. 159-165.

- [10] Аналіз нестационарного процесу руху газу в трубопроводі / А. Дацюк, Я. П'янило, М. Припула та ін. // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Комп'ютерні науки та інформ. технології. — Львів, 2009. — № 638. — С. 152-156.
- [11] Сінчук, Ю. Моделювання роботи кранів на магістральних газопроводах / Ю. Сінчук, Н. Припула, М. Припула // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Комп'ютерні науки та інформ. технології. — Львів, 2010. — № 663. — С. 216-222.
- [12] Сінчук, Ю. Моделювання нестационарних режимів газових мереж / Ю. Сінчук, Н. Припула, М. Припула // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Комп'ютерні науки та інформ. технології. — Львів, 2010. — № 663. — С. 128-132.

## Calculation of management parameters by gas streams in pipeline systems

Myroslav Prytula

*A system of gas transport, its basic technological objects, flow graphs from technological objects, mathematical model of gas streams and the basic technological restrictions are considered. Criteria of optimization and optimum control principles of gas streams in the conditions when input data are absent or non-clearly predicted, are presented. The problem of optimum control of gas streams is formulated. The basic sub-systems of the system of control parameters formation are characterised. The algorithm of optimum control parameters formation is proposed.*

## Расчет параметров управления потоками газа в магистральных системах

Мирослав Припула

*В работе рассмотрена система транспорта газа, ее основные технологические объекты, граф-схемы из технологических объектов, математическую модель газовых потоков и основные технологические ограничения. Приведены критерии оптимизации и принципы оптимального управления газопотоками в условиях отсутствия или нечеткого прогноза входных данных. Сформулирована задача оптимального управления газопотоками. Охарактеризованы основные подсистемы системы формирования параметров управления. Предложен алгоритм формирования параметров оптимального управления.*

Представлено доктором технічних наук Я. П'янилом

Отримано 07.05.10