

Н. Притула, М. Притула, А. Дацюк<sup>1</sup>, С. Гладун<sup>1</sup>, О.Химко<sup>2</sup>

Центр математичного моделювання ІППММ ім. Я.С. Підстригача НАН України,  
ТзОВ “Математичний центр”, <sup>1</sup>Об’єднане диспетчерське управління ДК “Укртрансгаз”,  
<sup>2</sup>Національний університет “Львівська політехніка”

## ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ГАЗОТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ

© Притула Н., Притула М., Дацюк А., Гладун С., Химко О., 2011

**Поставлено і розв’язано оптимізаційні задачі транспортування газу для різних критеріїв оптимальності, а також досліджено наявний потенціал оптимізації. В результаті числових експериментів знайдено верхні оцінки потенціалу оптимізації як для окремих технологічних об’єктів, так і для усієї газотранспортної системи.**

**Ключові слова: оптимізація, критерій оптимальності, газотранспортна система, компресорна станція, потенціал оптимізації.**

**Optimizing problems of gas transportation for different criteria of an optimality are carried out and solved, also the available potential of optimization is investigated. As a result of the spent numerical experiments the top estimations of potential of optimization as for separate facilities, and gas-transport system as a whole are found.**

**Keywords: optimization, criterion of an optimality, gas-transport system, compressor station, optimization potential.**

### Вступ

Оптимізація режимів роботи газотранспортної системи (ГТС) вимагає побудови адекватних математичних моделей окремих об’єктів і системи в цілому, алгоритмів мінімальної складності і швидкозбіжних методів розв’язування відповідних рівнянь і систем, а також нестандартних підходів пошуку оптимальних рішень. Невизначеність, розмірність системи, метрологічне та інформаційне забезпечення істотно впливають як на постановку задач, так і на їхню складність. Основні напрями оптимізації – оптимізація компресорних станцій, одноступінкових та багаторічкових магістральних газопроводів. Оптимізація компресорних станцій безпосередньо пов’язана з проблемами розрахунку реальних характеристик газоперекачувальних агрегатів (ГПА) – відцентрового нагнітача (ВН) та його приводу. Ці проблеми, своєю чергою, пов’язані з метрологічним забезпеченням компресорних станцій (КС). Відомі методи розрахунку реальних характеристик ГПА передбачають розрахунок теплотехнічних характеристик ГПА за емпіричними співвідношеннями, точність яких є часто недостатньою або недостатньо вивченою. І тому використання таких результатів на практиці є проблематичним. Як показує практика, більшість ГПА працюють, як правило, в деякій обмеженій області, яка є гарантовано надійною за багатьма параметрами. В таких випадках можна побудувати емпіричні залежності на політропічний ККД роботи ВН і коефіцієнт технічного стану приводу, щоб досягти достатньої точності розрахунку за обертами ВН і за паливним газом на тих режимах, які були характерними на значному інтервалі часу для цього ГПА.

Для оптимізації одноступінкових магістральних газопроводів (МГ) в літературі пропонуються різні підходи. В найпростішому випадку вважають, що всі КС на МГ є однотипними і з однаковими характеристиками, а віддалі між КС суттєво не відрізняються. В цьому випадку вдається отримати простий аналітичний вираз для побудови властивостей оптимального розв’язку, але він буде швидше якісним. У реальних умовах на точність оптимізації впливає велика кількість факторів і може виявитись, що область оптимальності буде значно меншою за багатьма параметрами за ступінь невизначеності. Для оптимізації одноступінкових МГ використовують той факт, що оптимальний

розв'язок лежить в області, близькій до максимальних тисків на виходах КС. Такий критерій в реальних умовах значних коливань тисків і витрат на входах і виходах МГ, а також в умовах недотримання контрактних тисків на входах МГ, слабкої прогнозованості факторів впливу на обсяги споживання газу, значного зростання споживання газу, відсутності достатніх його ресурсів не спрацює. В такому випадку оптимізацію треба проводити за умов обмеженості ресурсів за об'ємом газом.

Щоб отримати обґрунтовані результати, потрібно: охопити всю повноту факторів, які істотно впливають на газодинамічні процеси; користуватися перевіреними фактами, які одержані за відомих припущень чи умов; врахувати обмеженість і змінність наявних ресурсів, які можуть забезпечити максимально ефективне управління (використання потенціалу оптимізації).

### **1. Оптимізація. Розрахунок оптимальних параметрів роботи газотранспортних систем**

Більшість реальних задач планування прогнозних режимів роботи ГТС і його підсистем формуються як оптимізаційні. Ставлячи оптимізаційні задачі, потрібно сформулювати критерій оптимальності. Як правило, кожен критерій оптимальності вимагає свого підходу до розв'язання оптимізаційної задачі. Більшість відомих методів оптимізації (за різними критеріями) не враховують обмеженості ресурсів (потужність КС, запас акумульованого газу в трубах, прогноз надходження та відбору газу в ГТС).

Для оптимізації режимів ГТС потрібно з'ясувати потенціал оптимізації і реальні можливості його досягнення. Потенціал оптимізації можна оцінити за пропускну здатністю, запасом потужності КС, можливостями зміни температурного режиму руху газу, часом існування оптимального режиму, реальними технічними можливостями реалізації оптимального режиму, об'ємом акумульованого газу, темпом можливої зміни об'єму акумульованого газу. На останнє впливає характеристика піковості підземного сховища газу (ПСГ), технічні можливості обмеження відборів газу, контроль за втратами газу та раціональним використанням газу на власні потреби.

Реальні можливості досягнення оптимального режиму пов'язані з його керованістю. Для цього повинні бути доступними засоби керування параметрами газових потоків ГТС. Вони дають змогу не тільки їх утримувати в заданих технологічних межах, але й змінювати в таких межах, які б забезпечили підтримку потрібного ступеня надійності й оптимальності роботи системи.

### **2. Постановка задач розрахунку оптимальних режимів роботи ГТС**

Планування режимів роботи ГТС ґрунтується на певному прогнозі. Прогноз є доволі точним, якщо планують режим у межах однієї або декількох діб. Щоб досягти більшої точності планування режиму, слід використати наявну інформацію про існуючий режим. Найбільш інформативною і прогнозованою на короткий термін є інформація, яка стосується об'єму акумульованого газу в системі (в підсистемах) і його можливої зміни. Під час планових перемикань це дає можливість достатньо точно розрахувати прогнозований режим без складних розрахунків режиму ГТС у нестаціонарній постановці. Плануючи режими, наприклад, на наступний сезон, користуються середніми прогнозними параметрами, можливо, і минулорічними. Такі режими формують, як правило, в оптимізаційній постановці.

Розглянемо задачу планування режимів роботи ГТС. В постановці задачі використано такі позначення:  $(i, j)$  – ребро графу  $G(X, Y)$  ( $i$  та  $j$  – номери вершин),  $Q_i^+, Q_i^-, T_i, P_i, q_{ij}, \rho_0, \{m_i\}$  – джерело (витрата), відбір (витрата), температура, тиск газу, витрата газу на ребрі, густина газу за нормальних умов, масовий склад газу, відповідно. Для всіх сформульованих нижче задач заданими вважають моделі всіх технологічних об'єктів.

#### **Задано:**

- 1.1) граф-схему ГТС і граф-схеми всіх КС;
- 1.2) стан регулювальної та запірної арматури;
- 1.3) джерела із значеннями величин  $(Q_i^+, T_i)$ , або  $(Q_i^+, T_i, \rho_{i0})$ , або  $(P_i, Q_i^+, T_i, \rho_{i0}, T_{ir}, \{m_i\})$ ;
- 1.4) відбори із значеннями величин  $Q_j^-$ , або  $(Q_j^-, T_{jr})$ ;
- 1.5)  $D(\bar{r})$  – допустиму множину режимів роботи ГТС;

1.6)  $D(\bar{u})$  – допустиму множину керувань;

1.7) для кожної дуги  $(i, j)$  типу КС –  $P_i$ , або  $P_j$ , або  $q_{ij}$ , або  $\varepsilon$ .

**Знайти:**

2.1)  $P_i, T_i (i = 1, 2, \dots, n_G)$  у всіх вершинах графів  $G, G_k$ ;

2.2)  $q_{ij}, T_r(i, j), \rho(i, j)$  – витрату, точку роси і густину суміші газу за нормальних умов для всіх ребер  $(i, j) \in G(X, Y)$ ;

2.3)  $Q_k^-, n, N, \varepsilon, \delta, W, W_z$  – витрату паливного газу, кількість ГПА, оберти ВН, ступінь стиснення, віддаленість від зони помпажу, сумарну продуктивність, залишкову продуктивність для всіх задіяних у режимі КС.

**У разі виконання однієї із умов:**

3.1. Задано чи розраховано об'єм акумульованого газу в ГТС, а також в його зв'язних підсистемах, які отримані, якщо відомі стани запірної і регулювальної арматури та із граф-схеми ГТС видаленої дуги типу КС.

3.2. Задано один із критеріїв оптимальності стаціонарного режиму.

3.3. Задано критерій стійкості функціонування ГТС.

3.4. Одночасно задано один із критеріїв оптимальності стаціонарного режиму і критерій стійкості функціонування ГТС.

В реальних умовах роботи ГТС достатньо проблематично розв'язати достатньо точно сформульовану вище оптимізаційну задачу. Це пов'язано, в основному, з точністю вхідних даних, недостатньою точністю прогнозування процесів надходження і відбирання газу, проблемами ідентифікації параметрів моделей об'єктів.

Зазвичай частину або всі дані для розрахунку беруть із бази заміряних даних. Вони, як правило, для одних задач є надлишковими, а для інших неповними. Рішення про те, які з цих даних вважати вхідними, покладається на користувача або алгоритми розв'язування задач. В газотранспортній системі України газ власного видобутку, який за компонентним складом істотно відрізняється від імпортованого, намагаються не змішувати з газом іншого походження. І тому вважаємо, що змішування газу у вершинах не впливає на зміну його сумарного об'єму.

Важливо з'ясувати необхідні умови коректності постановки задач. В реальних умовах користувачам системи моделювання режимів доступні різні набори вхідних даних, зокрема і дані стану запірної арматури. Система моделювання повинна вказати на можливу неповноту даних або їх можливу суперечність. Якщо потрібно, із множини заданих умов система повинна вибрати таку підмножину несуперечливих даних, які забезпечують існування технологічного розв'язку.

Питання існування та єдиності розв'язку задач планування режимів для ГТС з компресорними станціями повністю не розв'язане. В літературі розглянуто питання існування і єдиності розв'язку задач для плоских граф-схем, а також для розподільних мереж з моделями об'єктів, поданих у певному математичному вигляді. Принциповим є забезпечення збіжності запропонованих в роботі ітераційних процедур розв'язування систем до таких розв'язків систем, які є технологічними.

Наведемо деякі необхідні умови існування розв'язку задач. Задамо для ребра  $(i, j)$  типу КС одну із величин – тиск на вході  $P_i$ , тиск на виході  $P_j$ , коефіцієнт стиснення  $\varepsilon = \frac{P_j}{P_i}$ , витрату газу  $q_{ij}$ . Видалимо з граф-схеми дуги типу КС. Якщо КС задамо витратою газу, тоді вершині  $i$  присвоїмо тип відбір з  $Q_i^- = q_{ij}$ , а вершині  $j$  тип джерело з  $Q_j^+ = q_{ij}$ . Видалимо також дуги  $(i, j)$  типу редуктор. Дуга типу редуктор не повинна входити ні в один із наявних контурів. Вершині  $i$ , присвоїмо тип відбір з  $Q_i^-$ , який дорівнює сумарному відбору в зв'язній компоненті з вершиною  $j$ . Граф-схема при видаленні дуг типу КС буде незв'язною. Однією із необхідних умов існування розв'язку системи нелінійних рівнянь буде одна із вказаних нижче:

1. У кожній зв'язній компоненті граф-схеми ГТС знайдеться тільки одна вершина, за винятком вершин, які були вершинами входами і виходами КС, в якій є задане абсолютне значення тиску.

2. З довільної вершини контуру існує шлях до вершини з абсолютним значенням тиску.

3. Для довільних двох вершин зв'язної компоненти знайдеться вершина, яка належить одному із можливих шляхів між ними з абсолютним значенням тиску.

Розглянемо основні критерії оптимізації. Для стаціонарних режимів можна запропонувати такі критерії: мінімум ГПА, що працюють, мінімальні енергетичні затрати, максимум тиску на виході КС, максимум політропних ККД, максимум акумуляції газу в системі трубопроводів, мінімум відхилень від заданого режиму, максимальна пропускна здатність, мінімум гідравлічних втрат у мережі. Підходи до оптимізації ГТС суттєво залежать від структури його підсистем і всієї системи. Слід виділити такі основні типові підсистеми: КС з однотипними та різнотипними КС, лінійні і деревоподібні ГТС, ГТС довільної структури.

Перед розглядом оптимізаційних задач потрібно знайти:

- фактичні термогідравлічні характеристики лінійної частини, газоперекачувальних агрегатів, пластів родовищ і газосховищ, технологічних об'єктів охолодження, очистки і усушки газу;
- параметри моделей і методів;
- оцінки точності задання геометричних параметрів, топології мережі і їхнього впливу на точність результату;
- гідравлічні еквіваленти;
- розподіл тиску в ГТС за максимальної пропускної спроможності, мінімальних енергетичних витрат і за заданого ступеня надійності (віддаленості від межі помпажу);
- величини транспортування газу при мінімальній його собівартості (відома вартість одиниці паливного газу);
- енерговитрати при максимальному завантаженні ГТС і завантаженні ГТС за мінімуму енерговитрат;
- зв'язок між вхідними даними і енерговитратами;
- стаціонарний оптимальний режим, найближчий до заданого стаціонарного при тому ж об'ємі акумульованого газу.

### **3. Розмірність реальних систем. Проблеми знаходження параметрів системи**

Для планування режимів роботи ГТС розраховують систему, в яку входять десятки тисяч ділянок газопроводів. Крім цього, в системах МГ працюють десятки компресорних станцій, кожна з яких складається з багатьох газоперекачувальних агрегатів різних типів, технологічних об'єктів переробки газу, запірної і регулювальної арматури. В термінах теорії графів модель ГТС, навіть без врахування складності технологічних схем КС і підземних газосховищ, містить десятки тисяч об'єктів типу вершина і ребро.

Моделями об'єктів є алгебраїчні, трансцендентні, диференціальні рівняння, системи диференціальних рівнянь. Вплив на параметри газових потоків деяких об'єктів можна описати й алгоритмічно. Можливе включення в модель ГТС об'єктів дискретної дії (наприклад, незворотні клапани). У математичному плані розрахунок параметрів ГТС, в загальному випадку, зводиться до необхідності розв'язування нелінійних систем, в які входять рівняння різних типів.

Крім вказаних проблем, сьогодні не існує переконливих числових методів розв'язування систем нелінійних алгебраїчних чи диференціальних рівнянь у часткових похідних, які описують роботи систем на великих інтервалах часу. Процеси розгортаються в областях з великими геометричними параметрами. В цьому випадку проявляється суттєво нестійкість розв'язків залежно від початкових даних і на розв'язок істотно впливає: дискретизація вихідних рівнянь; машинна похибка; неможливість встановити характер зміни параметрів моделей для значних частин областей системи; точність вимірювання.

Запропоновано метод розв'язання системи різнотипних нелінійних рівнянь [1], розв'язки яких задовольняють технологічні обмеження роботи основних об'єктів, які задіяні в транспорті газу. Розроблені методи не вимагають подання моделей об'єктів ГТС у певному вигляді, що дає змогу в модель ГТС включати всі об'єкти, які впливають на параметри потоків газу. Ці методи також не вимагають спрощення деяких моделей, зокрема моделей КС і ділянок газопроводів, які пролягають

по місцевості з пересіченим профілем траси. Збіжність методу не залежить від початкового наближення і, як наслідок, є можливість вводити в модель системи до десятків тисяч об'єктів.

Запропоновано алгоритми гідравлічного розрахунку багатоцехових КС з різнотипними ГПА, що дало змогу враховувати індивідуальні характеристики кожного ГПА і аналізувати вплив зміни режимних параметрів кожного ГПА на режим роботи КС в цілому [2].

Модель КС формується на основі моделей ГПА, різних технологічних об'єктів і їхніх об'язок. В модель КС входять параметри, які змінюються як неперервно в заданих межах, так і дискретно (оберти відцентрових нагнітачів, кількість ГПА). Для гідравлічного розрахунку таких систем запропоновано метод, який є збіжним у разі дискретних змін параметрів КС. Це дало змогу запропонувати метод розрахунку параметрів керування режимами роботи КС, метод ідентифікації реальних параметрів стану технологічних об'єктів КС, а також алгоритм її оптимізації за критерієм мінімуму витрати паливного газу на заданий режим при заданому віддаленні від зони помпажу (надійність роботи КС).

Розвинено методи ідентифікації параметрів моделей і технологічного стану об'єктів, що дало можливість врахувати апріорну невизначеність умов їх функціонування і забезпечити необхідну точність планування параметрів режимів роботи ГТС.

Існуюче метрологічне забезпечення ГТС України не дає змоги побудувати систему ідентифікації параметрів моделі та технологічного стану кожного об'єкта зокрема. Навіть більше, існує певна невизначеність впливу на параметри газопотоків зовнішніх чинників (температури зовнішнього повітря та атмосферного тиску, параметрів теплопередачі газ – зовнішнє середовище до газопроводів тощо) і тому для застосованої в ГТС системи вимірювання параметрів газу, зокрема і лабораторних досліджень газу, запропоновано алгоритми розрахунку параметрів моделей, технологічного стану об'єктів, які забезпечують розрахунок режимних параметрів роботи ГТС із точністю, співмірною з точністю вимірювань.

#### **4. Про методи оптимізації**

Для побудови швидких алгоритмів знаходження оптимального розв'язку потрібно вивчити його властивості для окремих об'єктів та типових підсистем. Серед типових підсистем слід розглянути окремих газопровід або систему магістральних газопроводів, які об'єднані в єдину систему з регулювальною арматурою і з різними номінальними тисками за наявності підземних газосховищ чи без них. Окремо потрібно виділити багатоцехові КС з різнотипними ГПА, які різняться як за потужністю, так і за типами приводів (газотурбінні чи електроприводні). Як правило, в складних дискретно-неперервних системах не обійтися без перебірних алгоритмів. Складність алгоритмів пов'язана з кількістю переборів. Їх можна зменшити як завдяки цілеспрямованості переборів, що можна забезпечити, знаючи властивості оптимального розв'язку, так і у разі максимального звуження області оптимальності. В перебірних алгоритмах порівняння режимів повинно бути коректним. Пошук режимів ведеться при тих самих обмеженнях, наприклад, при однакових об'ємах акумульованого газу.

#### **5. Числові експерименти**

У реальних умовах роботи ГТС, яка пов'язана з нестабільністю параметрів газу як на входах, так і виходах ГТС, зміною об'ємів відборів газу як упродовж доби, так і при переході з робочих на неробочі дні і навпаки, істотно коливаються об'єми акумульованого газу в ГТС. Ці коливання в певних межах можна зменшити за рахунок газосховищ, які на території України розміщені нерівномірно. Важливими факторами впливу на коливання як транзитних потоків, так і відборів із ГТС є температура зовнішнього повітря, яка часто різко змінюється одночасно на всьому європейському континенті, а також ремонтно-профілактичні й інші заплановані роботи. Задача оптимізації ГТС за енергетичним критерієм – задача з обмеженими ресурсами. В реальних умовах функціонування ГТС оптимальної роботи можна досягти, оптимізувавши роботу як окремих об'єктів, так і окремих підсистем і системи загалом.

**Мінімізація кількості ГПА, що працюють**, може забезпечити зменшення паливного газу на режим КЦ в межах **3–11 %**. Мінімізація кількості ГПА на режим завжди приводить до зменшення

об'ємів паливного газу, попри те, що робочі точки ВН на характеристиках ВН змістяться праворуч, в зону суттєвого зменшення політропного ККД.

Забезпечення *максимального тиску на виході КС, максимум пропускної здатності, максимум акумулювання газу* різняться за паливним газом кількома процентами – (2–3) %. Перераховані критерії оптимальності досить часто використовують на практиці. Всі ці критерії вимагають наявності ресурсу об'ємів газу, якого в реальних умовах досить часто немає, особливо при значному похолоданні.

*Зміна розподілу витрати між однотипними ГПА* без зміни кількості ГПА і їхньої сумарної масової витрати призводить в окремих випадках (далеко **не у всіх**) до економії паливного газу не більше ніж **1 %**. Як правило, однотипні ГПА намагаються завантажувати рівномірно, тобто виводити на близькі витрати чи оберти ВН. Інколи дотримуються, що можна строго обґрунтувати, такої стратегії завантаження: найбільше завантажувати по ходу руху газу перші ГПА. Якщо є антипомпажний захист, можливо перерозподіляти витрати між ГПА в дещо ширших діапазонах. В цьому випадку частина робочих точок ВН може бути максимально наближеною до зони помпажу (5 %). Експериментальні криві політропного ККД різкіше змінюються (зменшуються) у бік збільшення витрати ГПА і тому в багатьох випадках зміна розподілу витрати між однотипними ГПА не дає очікуваного ефекту.

*Перерозподіл потоків газу між МГ* може забезпечити економію паливного газу до **3,4 %**. Вказаний потенціал оптимізації можна виявити, в основному, засобами моделювання. В процесі реалізації потенціалу потрібно бути впевненим, що витрати на реалізацію потенціалу не перевищили очікуваного ефекту.

*Перерозподіл потоків між цехами багатоцехових КС* може забезпечити економію паливного газу в межах **6–8 %** (не враховано впливу зміни гідравлічних втрат на перепускання газу між цехами). В цьому випадку можливі два варіанти економії енергетичних ресурсів. Якщо один із цехів багатоцехової КС має ГПА з електроприводами, то можна зіграти на різниці цін паливного газу і електроенергії. В іншому випадку, для багатоцехових КС, перерозподіл потоків може дати значний ефект. Його потенціал також можна виявити на моделюючому комплексі.

Вчасний перехід із дво(три)ступеневого стиску газу на одно(дво)ступеневий стиск газу **може забезпечити економію паливного газу до 23 %**. На магістральних газопроводах працюють, в основному, повноприводні ГПА. Переважно багатоступеневе стискання газу проводиться на ДКС ПСГ і на небагатьох лінійних КС. Важливим фактором впливу на оптимальність ДКС є проточна частина ГПА. Розроблений програмний комплекс дає рекомендації щодо того, які проточні частини для ГПА на всіх ступенях стику використовувати в оптимальному режимі функціонування КС.

Вчасне **вимкнення ГПА**, який працює у режимі вентилятора, дає значну економію. Повне використання вказаного потенціалу економії можливе при надійному прогнозі параметрів газу на всіх входах та виходах ГТС.

Вчасний перехід на режим роботи ГТС при вимкнених, наприклад, через одну, дві і т.д. КС. При зменшенні об'ємів транспортування газу можна зупинити певну кількість цехів КС. Якщо є достовірний довготривалий прогноз, який дає можливість вчасно переходити на роботу з меншою кількістю цехів на КС, це забезпечує значну економію паливно-енергетичних ресурсів (оцінка економії пов'язана з величиною газового потоку).

*Перерозподіл об'ємів акумульованого газу*, наявного в системі між підсистемами, включаючи його зміну за рахунок ПСГ, дає до **5 % економії без** урахування енергетичних затрат, які необхідні для забезпечення такого перерозподілу. Цей потенціал економії буде досягнуто в результаті повного впровадження системи формування параметрів керування газопотоками в ГТС.

Управління температурним режимом транспорту газу–охолодження газу АПО (керування вентиляторами: кількістю та частотою обертання) протягом року дає змогу зекономити в певні періоди до **5 % паливного газу і допускає збільшення пропускної здатності магістрального газопроводу до 3 %**.

## Висновки

Існує хибна думка, що оптимізацію ГТС можна здійснити, користуючись в основному технічними засобами керування режимами роботи ГПА, КЦ. Жодні технічні засоби, по-перше, не дають можливості виявити й оцінити потенціал економії паливно-енергетичних ресурсів, а по-друге, знайти параметри управління газопотоками для реалізації вказаного потенціалу. За допомогою технічних засобів можна автоматизувати процес відпрацювання розрахованих параметрів керування. Потенціал оптимізації як окремих об'єктів, так і усієї системи постійно міняється. Щоб використовувати потенціал, його треба попередньо оцінити. Важливим є знаходження оптимальних способів його реалізації.

1. *Притула Н. М. Розрахунок параметрів потокорозподілу газу в газотранспортній системі (стаціонарний випадок) // Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології. – 2007. – Вип. 5. – С. 146–155.* 2. *Притула Н. М. Задачі оптимізації потокорозподілу в газотранспортних системах // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”: “Комп’ютерні науки та інформаційні технології”. – Львів, 2007. – № 604. – С. 220–227.* 3. *Притула Н. М., Притула М. Г., П’янило Я. Д. Розрахунок усталеного руху газу в магістральних газопроводах // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”: “Комп’ютерні науки та інформаційні технології”. – Львів, 2006. – № 565. – С. 270–274.* 4. *Гладун С., Притула Н., Землянський Б., Химко О. Розрахунок гідродинамічних параметрів стану об’єктів транспорту газу // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”: “Комп’ютерні науки та інформаційні технології”. – Львів, 2008. – № 629. – С. 92–99.*

УДК 004.722

**К. Обельовська, Н. Грицуняк, С. Сагайдак**  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра автоматизованих систем управління

## МОДИФІКОВАНИЙ АЛГОРИТМ ГОМОРИ-ХУ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ МЕРЕЖ, ОСНОВАНИХ НА ТЕХНОЛОГІЇ SDN

© Обельовська К., Грицуняк Н., Сагайдак С., 2011

**Запропоновано модифікований алгоритм Гоморі-Ху для оптимізації мереж, орієнтованих на технологію SDN.**

**Ключові слова:** комп’ютерні мережі, топологія, пропускна здатність, синхронна цифрова ієрархія.

**Modified Gomory-Hu SDN oriented algorithm for network optimization is proposed.**

**Keywords:** computer network, topology, throughput, synchronous digital hierarchy.

### 1. Вступ

Сформулювати, а тим більше розв’язати загальну задачу синтезу оптимального варіанта мережі інтегрального обслуговування нині неможливо. Тому формулюють і розв’язують часткові оптимізаційні задачі, на їхній основі створюють імітаційні моделі мережі, на яких вдосконалюють отримані рішення [1]. В [2], поряд з іншими алгоритмами, що імплементовані в імітаційну модель, є також алгоритм Гоморі-Ху. В [3] запропоновано модифікацію алгоритму Гоморі-Ху для оптимізації топології мереж, орієнтованих на стандартну ієрархію швидкостей.

### 2. Постановка задачі

Алгоритм Гоморі-Ху дає можливість знайти топологію мережі та пропускні здатності її каналів, які забезпечать передавання заданих потоків при мінімальній сумарній пропускній здатності мережі. Проте пропускна здатність каналів, що прокладаються чи орендуються, не може набувати будь-якого, отриманого в результаті оптимізації, значення. Її треба вибирати відповідно