

УДК 681.5.015

С.В. Дядюн, О.М. Штельма

*Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна*

## ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНА СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ГАЗОРОЗПОДІЛЬНИМИ МЕРЕЖАМИ

*Сучасні вимоги економії енергетичних та сировинних ресурсів, вимоги надійного забезпечення газом при оптимальному поточкорозподілу в мережі ставлять завдання подальшого вдосконалення управління газопостачанням. Тому проблема створення інтегрованої автоматизованої системи управління виробничим об'єднанням газового господарства регіону (області) досить актуальна. Розглянуто управління в нормальних умовах, управління в умовах дефіциту газу, управління в аварійних ситуаціях. оперативне управління функціонуванням систем газопостачання.*

**Ключові слова:** система управління, газорозподільна мережа, модель, функціонування, процес, якість, ефективність.

### Постановка проблеми

Сучасні вимоги надійного забезпечення та економії енергетичних та сировинних ресурсів ставлять завдання подальшого вдосконалення управління газопостачанням. Безперебійне та безаварійне газопостачання населення, комунально-побутових промислових та інших об'єктів газом, безпечну експлуатацію газового господарства, забезпечення розвитку газифікації здійснюють в даний час виробничі об'єднання газового господарства області, які являють собою єдиний виробничо-господарський комплекс, до складу якого входять різні виробничі одиниці. Управління виробничим об'єднанням газового господарства області має бути автоматизованим (з малим ступенем автоматизації), багатоцільовим, високонадійним і здійснюватися в умовах неповної та недостовірної інформації про керований об'єкт, нерідко в умовах жорсткого дефіциту. Необхідною умовою здійснення автоматизованого управління підсистемами виробничого об'єднання газового господарства області є розробка математичних моделей і методів розв'язання задач управління та реалізація цих методів. **Метою** даної роботи є розгляд основних аспектів проблеми оперативного управління системами газопостачання.

### Аналіз сучасних досліджень і публікацій

Питанням вдосконалення управління системами газопостачання присвячено велику кількість наукових праць. Теоретичні основи математичного моделювання газорозподільних мереж закладені в роботах [1-4]. Проблемам оптимізації поточкорозподілу та оперативного управління поточкорозподілом в газорозподільних і інших інженерних мережах присвячені роботи [1-3]. Новітні розробки в цих галузях

регулярно публікуються в збірниках наукових праць [5-7]. Останні роботи авторів статті за даною тематикою опубліковано в роботах [8-10].

### Виклад основного матеріалу

Розглянемо виробниче об'єднання газового господарства області як об'єкт управління, що функціонує в деякому середовищі. Виділення об'єкта із середовища - це штучний прийом, що дозволяє здійснити декомпозицію системи, виділити спостережувані і керовані змінні, розділити змінні на входи і виходи. До середі відносять, як правило, некеровані підсистеми, а також ті підсистеми, управління якими здійснюється на інших ієрархічних рівнях відповідно до інших критеріїв і практично не залежить від керованих змінних виділеного об'єкта.

Виділення об'єкта із середовища і виявлення керованих змінних проводиться з точки зору заданої мети управління. Основна мета управління виробничим об'єднанням газового господарства області в нормальних умовах полягає в забезпеченні газом безперервно мінливих потреб його споживачів включаючи перспективне будівництво, тобто в забезпеченні найбільш повної відповідності між станами об'єкта управління і навколишнього середовища у часі. Така відповідність має бути реалізована при квазіоптимальних значеннях деяких критеріїв управління та виконанні технологічних обмежень.

Враховуючи специфіку виробничого об'єднання газового господарства області як об'єкта управління, його доцільно представити у вигляді шести типів підсистем: підсистема постачання природним газом; підсистема постачання зрідженим газом; підсистема будівельних робіт; ремонтне обслуговування (технічна експлуатація); організаційно-економічна підсистема; адміністративна підсистема.

При вирішенні задач автоматизованого управління виробничим об'єднанням газового господарства області до навколишнього середовища віднесемо постачальників природного і зрідженого газу, будматеріалів, устаткування, запчастин проектно-конструкторські організації, споживачів газу, а також управляючі організації, що не входять до складу виробничого об'єднання газового господарства. Стан навколишнього середовища характеризується поставками постачальників, можливим рівнем споживання газу споживачами та управлінням вищестоящих організацій.

Автоматизована система виробничого об'єднання газового господарства області повинна бути дворівневою, а виходячи з функціонального призначення підсистем, що входять до його складу, їх можна представити у вигляді шести незалежних або слабо залежних (по критерію функціонування і зміни) підсистем: двох основних (підсистем постачання природним і зрідженим газом) та трьох допоміжних (будівельних робіт, технічної експлуатації і організаційно-економічної підсистеми) на першому рівні управління і одного (адміністративна) на другому. Підвищення ефективності управління можливо за рахунок здійснення його автоматизації основними і допоміжними підсистемами (I-й рівень управління), а також керуючої підсистеми (II-й рівень), що дозволить здійснювати координацію з управління усіх підсистем, що входять до складу виробничого об'єднання газового господарства області.

Необхідною умовою здійснення автоматизованого управління підсистемами виробничого об'єднання газового господарства області є розробка математичних моделей і методів розв'язання задач управління і реалізації цих методів.

### **Управління газорозподільними мережами під час різних умов**

Розглянемо основні аспекти проблеми оперативного управління потокорозподілом в газорозподільних мережах.

Система газопостачання повинна забезпечувати безперебійну подачу газу споживачам, бути безпечною в експлуатації, надмірною, тобто повинна передбачати можливість відключення окремих її елементів з метою профілактики або в аварійних ситуаціях.

Міська система газопостачання є багатоступінчастою (ієрархічною) структурою, що має розподільну мережу тієї чи іншої складності на кожному рівні ієрархії. Рівні пов'язані між собою регуляторами тиску газу (газорозподільючі станції, газорозподільючі пункти), які забезпечують заданий режим в розподільній мережі нижнього рівня.

Багатоступенева структура міських систем газопостачання викликана наявністю в місті різних класів споживачів, породжує різноманіття режимів споживання, їх територіальну рознесеність та ін.

Відповідно для того, щоб визначити об'єкт управління, необхідно спочатку сформулювати мету (або мети) управління. Цілі управління бувають двох видів: якісні і кількісні [1-3].

Якісна мета управління міськими системами газопостачання визначається їх основним функціональним призначенням і полягає в забезпеченні споживачів газом в необхідних кількостях і в заданому діапазоні тисків. Ця мета може бути досягнута або не досягнута. Для кількісної характеристики досягнення поставленої мети служить критерій управління, який в даному випадку може приймати тільки два значення: одиницю (в разі досягнення мети) і нуль (в іншому випадку). Якісні цілі є стратегічними і використовуються на самому верхньому рівні ієрархії управління всією системою.

Міські системи газопостачання характеризуються безліччю технічних параметрів, що визначають стан системи і залежать від значень керованих змінних. Досягнення стратегічних цілей можливо при різних значеннях керованих змінних і, отже, при різних значеннях цих параметрів. Більш того, для досягнення якісної мети взагалі неважливо, якими будуть значення параметрів, лише б вони не виходили за допустимі межі. Однак при реалізації управління (реалізації досягнення якісної мети) далеко не байдуже, якою ціною буде досягнута поставлена мета, тобто мова йде не про управління взагалі, а про управління оптимальному, яке характеризується кількісними цілями управління.

Кількісні цілі управління полягають в прагненні зменшити (або збільшити) значення деяких параметрів (критеріїв оптимізації), що характеризують режими функціонування міської системи газопостачання.

Розглянемо основні кількісні цілі управління міськими системами газопостачання в різних умовах їх функціонування.

**Управління в нормальних умовах.** Коли кількість газу, необхідного місту на даному відріzk часу, не перевищує поставки, то міська система газопостачання функціонує в нормальних умовах. Якісна мета управління в цих умовах досягається.

"Ідеальним" управлінням, з точки зору кількісних цілей, в цих умовах було б досягнення такого потокорозподілу газу в мережі, що забезпечує тиск на вході кожного споживача на рівні мінімально-допустимого -  $P_{\min}^+$  [1-3]. Однак, досягнення цієї мети на практиці неможливо через складність реальних мереж високого і, особливо, середнього тиску; через безліч споживачів газу (а кожен з них має своє значення  $P_{\min}^+$ ) та ін. Оскільки специфіка мі-

ських систем газопостачання полягає в тому, що вони є пасивними системами, то критерій мінімуму енерговитрат на доставку цільового продукту, характерний для інженерних мереж, в розглянутих системах відсутній. Тому основною кількісною метою управління міськими системами газопостачання в нормальних умовах функціонування є забезпечення споживачів газом в необхідних кількостях при мінімумі сумарного надлишкового тиску в мережі [1-3]. Сумарний надлишковий тиск в мережі складається із значень надлишкових тисків у кожного споживача, що представляють собою різницю між фактичним і мінімально-допустимим тисками. Реалізація управління з даним критерієм дозволяє зменшити: виток газу в мережі, перевитрату його споживачами, ймовірність виникнення аварійних ситуацій в мережі. Крім того, організація економних режимів споживання газу в міських газорозподільних мережах, які є споживачами магістральної транспортної мережі, дозволяє останній економити певну кількість електроенергії, що витрачається на дальній транспорт газу.

**Управління в умовах дефіциту газу.** Коли кількість газу, необхідна місту на планований відрізок часу Тпл перевищує кількість, яка може виділити його постачальник, виникає задача управління системою газопостачання в умовах дефіциту газу.

Дефіцит газу призводить до погіршення техніко-економічних показників роботи підприємств та вимагає додаткових витрат, пов'язаних з переведенням підприємств на інші види палива.

Якісна мета управління в цих умовах не досягається. Задача управління системами газопостачання в умовах дефіциту газу розпадається на два етапи:

I етап: завдання оптимального вибору обмеження в газі (повністю або частково) споживачів (задача розподілу дефіциту), критерієм оптимізації на даному етапі є мінімізація народногосподарського збитку, пов'язаного з погіршенням техніко-економічних показників обмежених в газі підприємств, а також з додатковими витратами на переклад підприємства на резервне паливо і назад.

II етап: завдання планування (для решти споживачів) потокорозподілу в мережі за критерієм мінімуму сумарних надлишкових тисків на входах споживачів.

**Управління в аварійних ситуаціях.** Відмова (аварія) лінійного ділянки газової мережі призводить до значних збитків, внаслідок прямих втрат газу, зміни режимів функціонування систем газопостачання, виникнення дефіциту газу в системі і, на рещті, саме небажане - вибух газоповітряної суміші з усіма витікаючими звідси наслідками. В цих умовах виникає задача управління системами газопостачання в аварійних ситуаціях.

Якісна мета управління при виникненні аварії може бути в деяких випадках досягнута після локалізації аварійної ділянки при наявності відомої структурної надлишковості мережі. Все залежить від характеру, місця і часу виявлення аварії. Задачу управління в аварійних ситуаціях можна розбити на три етапи:

I етап: завдання виявлення місця розташування аварійної ситуації. Вирішується за допомогою ідентифікації гідравлічних опорів окремих ділянок і зон газової мережі, визначення швидкості зміни цих опорів і прийняття рішення про наявність аварійної ситуації, якщо ці значення переходять деякий поріг.

Критерій управління на даному етапі - мінімум часу виявлення аварійної ситуації.

II етап: завдання раціональної локалізації аварійної ділянки. Вирішується шляхом пошуку найближчих до аварійної ділянки вимикаючих пристроїв з метою його виключення з мережі. Якщо є кілька варіантів виключення аварійної ділянки з мережі, вибирається варіант, що забезпечує мінімум приведених додаткових витрат (мінімум шкоди) виникають через аварію в мережі.

III етап: завдання планування (для структури мережі, яка вийшла в результаті рішення задачі попереднього етапу) потокорозподілу в мережі за критерієм мінімуму сумарних надлишкових явищ на входах споживачів.

Якщо ж в міській системі газопостачання в результаті аварії виник дефіцит газу, то на III етапі вирішується також описана задача управління системою газопостачання в умовах дефіциту газу.

## **Оперативне управління режимами**

### **транспорту і розподілу газу в**

### **газорозподільних мережах. Висновки**

Проблема обліку реальних умов функціонування газорозподільних мереж приводить до необхідності розглядати їх як стохастичний об'єкт, що функціонує в стохастичному середовищі. На вербальному рівні проблема оперативно-диспетчерського управління режимами транспорту і розподілу природного газу в системі газопостачання на інтервалі часу  $[0, T]$  полягає в знаходженні такого управління структурою і параметрами газорозподільних мереж, яке б забезпечувало оптимальні значення показників їх якості і ефективності функціонування при всіх зовнішніх і внутрішніх обуреннях, які виникають на даному інтервалі часу  $[0, T]$ .

Особливість даної проблеми полягає в тому, що точні значення цих обурень априорі невідомі, а відомі тільки імовірнісні (статистичні) характеристики їх появи. Всі показники якості функціонування газорозподільних мереж можна розділити на дві групи показників: зовнішні і внутрішні. Зовнішні

показники характеризують ступінь задоволення всіх груп споживачів об'ємом, складом і фізичними параметрами природного газу, що поставляється ним на інтервалі часу  $[0, T]$ . Як формальні зовнішні показники доцільно використовувати прямі та непрямі оцінки ефективності функціонування газорозподільних мереж, до яких відносяться: а) вірогідність виникнення дефіциту постачання газу і-му споживачеві; б) об'єм недоотпуску газу і-му споживачеві та ін.

Як внутрішній показник якості роботи газорозподільних мереж доцільно розглядати максимум математичного очікування технологічної (режимної) стійкості роботи усіх газорозподіляючих пунктів.

Показники ефективності функціонування газорозподільних мереж характеризують ефективність використання всіх матеріальних і енергетичних ресурсів на забезпечення заданої якості їх функціонування. Як формальні показники ефективності функціонування газорозподільних мереж на інтервалі часу  $[0, T]$  доцільно використовувати мінімум математичного очікування сумарних витрат в енергетичному або вартісному виразі на транспорт і розподіл природного газу.

Особливості інформаційної структури і умови фізичної реалізованості управління привели до необхідності зведення вирішення проблеми оперативного управління режимами функціонування систем газопостачання на інтервалі часу  $[0, T]$  до вирішення двох взаємозв'язаних задач [1-3]: 1) оперативне планування режиму, здійснюване на підставі обчислених в нульовий момент часу з попередженням  $T$  значень умовних математичних очікувань (прогнозів) всіх основних зовнішніх і внутрішніх обурень; 2) корекція режиму, здійснювана для кожного моменту часу інтервалу  $[0, T]$  після спостереження фактичних реалізацій випадкових значень всіх зовнішніх і внутрішніх обурень.

Задача оперативного планування режиму роботи газорозподільних мереж полягає у виборі таких їх структури і параметрів, при яких на інтервалі управління  $[0, T]$  показники їх якості і ефективності функціонування досягають свого максимуму.

Задача стабілізації режиму роботи газорозподільних мереж на кожному з рівнів полягає в забезпеченні мінімуму дисперсії ухилення фактичних параметрів газових потоків від планових установок при всіх можливих зовнішніх і внутрішніх обуреннях і, в штатних ситуаціях, вирішується засобами локальної автоматики газорозподіляючих станцій та газорозподіляючих пунктів.

Вирішення задач оперативного планування і стабілізації режимів роботи системи газопостачання засноване на використанні різних математичних моделей газорозподільних мереж, вимагає різного об'єму статичних (нормативно-довідкових) і дина-

мічних (оперативних) даних і здійснюється в різних тимчасових інтервалах.

Рішення задачі стабілізації режиму здійснюється в реальному часі, а задачі оперативного планування – в умовно реальному часі.

### Література

1. Евдокимов, А. Г. Моделирование и оптимизация потокораспределения в инженерных сетях [Текст] / А. Г. Евдокимов, А. Д. Тевяшев, В. В. Дубровский. – М.: Стройиздат, 1990. – 368 с.
2. Евдокимов, А. Г. Оперативное управление потокораспределением в инженерных сетях [Текст] / А. Г. Евдокимов, А. Д. Тевяшев. – Харьков, 1980. – 144 с.
3. Евдокимов, А. Г. Потокораспределение в инженерных сетях [Текст] / А. Г. Евдокимов, В. В. Дубровский, А. Д. Тевяшев. – М.: Стройиздат, 1979. – 199 с.
4. Баясанов, Д. Б. Распределительные системы газоснабжения [Текст] / Д.Б. Баясанов, А.А. Ионин – М.: Стройиздат, 1977. - 407 с.
5. Трубопроводные системы энергетики. Управление развитием и функционированием [Текст] / под ред. А.Д. Тевяшева - Новосибирск: Наука, 2003 - 586 с.
6. Трубопроводные системы энергетики: математическое моделирование и оптимизация [Текст] / Н.Н. Новицкий, М.Г. Сухарев, А.Д. Тевяшев и др. - Новосибирск: Наука, 2010 - 419 с.
7. Методические вопросы исследования надёжности больших систем энергетики [Текст] / под ред. Н.И. Вороняй, А.Д. Тевяшева // Вып.61. Проблемы исследования и обеспечения надёжности либерализованных систем энергетики - Иркутск, 2011 - 548 с.
8. Дядюн, С. В. Имитационные модели технологических процессов функционирования трубопроводных транспортных систем. [Текст] / С.В. Дядюн, О.Н. Штельма // Комунальне господарство міст. Випуск 120, К.: Техніка, 2015. – С.32-35.
9. Дядюн, С. В. Оперативно-диспетчерське управління режимами транспорту і розподілу газу в регіональних системах газопостачання [Текст] / С.В. Дядюн // Матеріали IV-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми, перспективи і нормативно-правове забезпечення енерго-, ресурсозбереження в жилищно-комунальному господарстві». – Харьков, 2013. - с. 92-93.
10. Дядюн, С. В. Организационно-технологическая автоматизированная система управления водоснабжением крупного города [Текст] / С.В. Дядюн, И.М. Писаревский, О.Н. Штельма // Технологический аудит и резервы производства. - Харьков, 2015. - №6(3), 26. - с. 9-13.

### References

1. Evdokimov, A.G., Tevyashev, A.D., Dubrovsky, V.V. (1990) Modeling and optimization of flow distribution in engineering networks, 368.
2. Evdokimov, A.G. & Tevyashev, A.D. (1980) Operative control of flow distribution in engineering networks, 144.
3. Evdokimov, A.G., Dubrovsky, V.V., Tevyashev, A.D. (1979) Potokoraspredelenie in engineering networks, 199.
4. Bayasanov, D. B. & Ionin, A.A. (1977) Distribution systems of gas supply, 407.

5. Tevyashev, A.D. (2003) Pipeline energy systems. Management of development and functioning. *Novosibirsk: Nauka*, 586.
6. Novitsky, N.N., Sukharev, M.G., Tevyashev, A.D. and others (2010) Pipeline energy systems: mathematical modeling and optimization. *Novosibirsk: Nauka*, 419.
7. Voropai, N.I. & Tevyashev, A.D. (2011) Methodological issues of investigation of reliability of large energy systems. *Issue 61: Problems of research and ensuring the reliability of liberalized energy systems*, 548.
8. Dyadun, S. V. & Shtelma, O.N. (2015) Imitating models of technological processes of functioning of pipeline transport systems. *Communal state of the city*, 120, 32-35.
9. Dyadun, S.V. (2013) Operative-dispatching control of modes of transport and distribution of gas in regional gas supply systems. *Materials of the IV International Scientific and Practical Conference "Problems, perspectives and regulatory support of energy- , resource saving in housing manal economy"*, 92-93.
10. Dyadun, S.V., Pisarevsky I.M., Shtelma O.N. (2015) Organizational and technological automated control system for

water supply in a large city. *Technological audit and production reserves*, 6 ((3)26), 9-13.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Г.Г. Асєєв, зав. кафедри інформаційних технологій Харківської державної академії культури.

**Автор:** ДЯДЮН Сергій Васильович  
кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри прикладної математики та інформаційних технологій  
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова  
E-mail - daulding@ukr.net

**Автор:** ШТЕЛЬМА Ольга Миколаївна  
старший викладач кафедри прикладної математики та інформаційних технологій  
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова  
E-mail - olga.shtelma@gmail.com

## THE ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL SYSTEM OF AUTOMATED CONTROL OF GAS DISTRIBUTION NETWORKS

S. Dyadun, O. Shtelma

O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

*Modern requirements for saving energy and raw materials, requirements for reliable gas supply with the optimal flow distribution in the network set the task of further improving the management of gas supply. Therefore, the problem of creating an integrated automated control system for the production association of gas industry in the region (oblast) is very relevant.*

*Management is considered in normal conditions, control in the conditions of gas shortage. Management in emergency situations. operational management of modes of transport and distribution of gas in gas distribution networks. The problem of accounting for the real conditions of the operation of gas distribution networks leads to the need to consider them as a stochastic object that functions in a stochastic environment.*

*The problem of operational dispatch control of the modes of transport and distribution of gas in the interval of time  $[0, T]$  is to find such control of the structure and parameters of gas distribution networks, which would provide optimal values of indicators of their quality and efficiency of functioning with all external and internal disturbances.*

*The peculiarities of the information structure and the conditions of the physical realization of management led to the need to solve the problem of operational dispatch control modes of transport and distribution of gas in the interval of time  $[0, T]$  to solve two interrelated tasks:*

*1) operational planning of the regime, carried out on the basis of calculated in zero moment of time with the warning  $T$  values of conditional mathematical expectations (predictions) of all major external and internal indignations;*

*2) correction of the regime, carried out for each time of the interval  $[0, T]$  after observing the actual realizations of the random values of all external and internal disturbances.*

**Keywords:** control system, gas distribution network, model, functioning, process, quality, efficiency.