

622.691.4
P83

ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ

РУДНІК Анатолій Андрійович

УДК 621.643.201.211

**МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ
ТРАНСПОРТУВАННЯ ГАЗУ**

Спеціальність 05.15.13 – нафтогазопроводи, бази
та сховища

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Івано-Франківськ-2002



Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України та інституті газу Національної академії наук України.

Науковий керівник доктор технічних наук, професор **Жидкова Мотрона Олександрівна**, Інститут газу НАН України, зав. відділом транспорту газу (м. Київ)

Офіційні опоненти

доктор технічних наук, професор **Грудз Володимир Ярославич**, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, завідувач кафедри спорудження та ремонту газонафтопроводів і газонафтоосховищ (м. Івано-Франківськ)
кандидат технічних наук **Говдяк Роман Михайлович**, голова правління ВАТ «Укргазпроект», (м. Київ)

Провідна установа ІВП «Всеукраїнський науковий і проектний інститут транспорту газу» (ВНІПТРАНСГАЗ), м.Київ

Захист відбудеться 22 жовтня 2002 р. о 10 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д20.052.04 в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу за адресою: 76019, м.Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15

З дис
Івано-
газу з

іотеці
афти і
5

Авто

Вчен
Спеці
Д20.0

В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Доринкова технологія розрахунків виробничої функції (спроможності) магістральних газопроводів в ринкових умовах не є самодостатньою. Це зумовлено тим, що через незбалансованість схемної структури систем газопостачання, безперервну їх адаптаційну реконструкцію та ситуаційно-залежні комутації потоків газу, газопроводи працюють в діапазоні непроєктних режимів. А відтак розробка методів моделювання і розрахунків виробничої спроможності магістральних газопроводів за непроєктних режимів роботи постає найневідкладнішою. Принципово новим аспектом проблеми моделювання виробничої функції магістральних газопроводів постає концепція оптимізації потоків транспортованого газу. Розробка методології визначення непроєктно-оптимальних завантажень магістральних газопроводів є першопроходжуваною.

Провідна ідея підвищення ефективності трубопровідного транспорту газу в ринковому середовищі спирається на принцип порівняння всіх надходжень з усіма витратами, а також концепцію умовного розподілу всіх витрат на постійні (обслуговування основних фондів) і керовані змінні (витрати паливно-енергетичних ресурсів). Багаторічна практика експлуатації магістральних газопроводів свідчить, що енергетичні витрати зростають нелінійно і відносно більш інтенсивно, ніж обсяги транспортованого газу. Отже, виникає необхідність розробки методичних засад ідентифікації специфічності прояву змінваних пропорцій між обсягом витрачуваних паливно-енергетичних ресурсів і обсягом транспортованого газу. Це наріжна основа ринково-орієнтованого аналізу, поточного і перспективного прогнозування та максимізації ефективності трубопровідного транспортування газу. Відтак, є гостро актуальною розробка методів реалізації газотранспортних моделей, адаптованих до реальних умов експлуатації магістральних газопроводів з врахуванням особливостей нашої газопровідної системи: фізичного старіння, незбалансованої структури, наднормової експлуатації енергонасичених об'єктів, обмежень на потоки газу кон'юнктурного типу та ін.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тематика дисертаційної роботи пов'язана з виконанням ДНТП 4.12. "Економічні та

НТБ
ІФНТУНГ



an768

технологічні засади енерго- та ресурсозбереження; стратегія розвитку енергетики” за конкурсними проектами 04.12.00091P95 “Розробка науково-методичної основи формування стратегічних напрямів енерго- та ресурсозбереження в галузі трубопровідного транспорту газу” (комплексний проект 04.12.04 (002K95); 04.12.03 (00795) “Розробка науково-методичної основи забезпечення формування рішень з питань розвитку, реконструкції та функціонування системи газопроводів з врахуванням незбалансованості їх схемної структури, фізичного зносу та реальних умов їх експлуатації” (комплексний проект 04.12.03 (008K95). Підрозділи цієї роботи у відповідні періоди входили до тематичних планів науково дослідних робіт і планів впровадження АГ “Укргазпром”, Держкоменергозбереження України, Держнафтогазпрому України.

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є створення ринково-орієнтованої концепції оптимізації потоків газу при неспроєктних режимах роботи магістральних газопроводів як вихідної основи оцінювання ефективності функціонування та реконструкційного розвитку систем магістральних газопроводів.

Основні положення концепції та її науково-методичні засади складають дослідження та розв’язок таких задач:

1. Розробка нової неспроєктно-орієнтованої методології оцінювання та розрахункового аналізу ефективності функціонування магістральних газопроводів. Ідеологічну основу методології складають аналітичні методи моделювання залежності витрат виробничих потужностей газопроводів від обсягів транспортованого газу. Ця залежність відіграє ключову роль при формуванні оптимізаційної зони прибуткового використання виробничих ресурсів.

2. Дослідження та аналіз методів моделювання неспроєктних режимів роботи магістральних газопроводів з врахуванням схемної структури газопроводів, фізичного зносу та реальних умов експлуатації.

3. Відпрацювання методично узгодженої системи газотермодинамічних моделей виробничих функцій лінійних ділянок і компресорних станцій для неспроєктних режимів роботи магістральних газопроводів;

4. Розробка структури системи інформаційного забезпечення розрахункових моделей компресорних станцій і лінійних ділянок магістральних газопроводів з врахуванням їх експлуатаційних характеристик та технічного стану ;

5. Розробка розрахункових методів визначення обсягів продукції газотранспортного виробництва з використанням вимірника виконуваної газотранспортної роботи. Обґрунтування доцільності використання функціонального вимірника газотранспортної роботи магістральних газопроводів в ринково орієнтованих прогнозах ефективності

трубопровідного транспорту газу.

Об'єкт дослідження - система газопроводів України.

Предмет дослідження – непроєктні режими роботи магістральних газопроводів і їх оптимізація в умовах ринково-орієнтованих відносин.

Метод дослідження - аналітичні методи моделювання процесів трубопровідного транспортування газу при непроєктних режимах роботи магістральних газопроводів з використанням сучасних технологій.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Розроблено методологічні засади аналітичного моделювання непроєктних режимів роботи магістральних газопроводів, як засобу розрахункового аналізу та оцінювання ефективності функціонування систем трубопровідного транспортування газу.

2. Сформована якісно нова система розрахункових моделей для виробничих функцій лінійних ділянок і компресорних станцій магістральних газопроводів.

3. Вперше сформульована концепція оптимальної продуктивності магістральних газопроводів та оптимального розподілу потоків газу.

4. Вперше запропонований ринково-орієнтований підхід до визначення оптимальної продуктивності магістральних газопроводів і на цій основі побудована концепція оцінювання ефективності використання виробничих ресурсів, залежної від схемної структури газопроводів та експлуатаційної технології використання встановлених потужностей.

Особистий внесок здобувача в одержанні наукових результатів

Основні положення дисертаційної роботи відпрацьовані автором особіно. Вони опубліковані в роботах без співавторів: окреслено головний напрямок максимізації ефективності використання виробничого потенціалу систем трубопровідного транспорту газу; запропонована концептуально нова ринково-орієнтована система розрахункових моделей для оцінювання, аналізу та підвищення ефективності магістральних газопроводів [1]; сформована система математичних моделей і адаптаційно нова технологія моделювання залежностей виконуваної газотранспортної роботи лінійних ділянок і компресорних станцій магістральних газопроводів від обсягів транспортованого газу; обрентована доцільність використання вимірника виконуваної газотранспортної роботи для формування оптимального розподілу потоків газу [2,3] .

В роботах, опублікованих у співавторстві [4,5,6], автору належить аналіз основних напрямів енергоресурсозбереження та підвищення продуктивності газопроводів за рахунок заходів щодо реконструкції і технічного переобладнання компресорних станцій магістральних газопроводів.

Автор брав особисту участь у формуванні Комплексної державної

програми енергозбереження України та впровадженні ринково-адаптованих методів підвищення ефективності магістральних газопроводів в управлінську сферу газотранспортного виробництва ДК “Укртрансгаз”.

Практичне значення одержаних результатів.

1. Розробка та удосконалення ринково-орієнтованої концепції розрахункового аналізу, оцінювання та підвищення ефективності систем трубопровідного транспорту газу;
2. Розробка ринково-адаптованої системи математичних моделей для наукового обґрунтування стратегічних напрямків підвищення ефективності трубопровідного транспорту газу в умовах фізичного зносу та наднормової експлуатації технологічних об'єктів магістральних газопроводів;
3. Створення методичної основи аналітичного моделювання виробничих функцій лінійних ділянок і компресорних станцій за непроекtnих режимів роботи магістральних газопроводів з врахуванням обмежень на технологічні параметри газотранспортних структур;
4. Аналітично-розрахункова методологія оцінювання впливу на виробничу спроможність систем трубопровідного транспорту газу фондо- та ресурсонасиченості газотранспортного виробництва, схемної структури і технологічної збалансованості систем газопостачання;
5. Методи математичного моделювання показників ефективного використання виробничих ресурсів систем трубопровідного транспорту газу.

Апробація результатів дисертації.

Основні положення і результати дисертації доповідалися на науково-технічній конференції “Забезпечення економічної і безпечної експлуатації газотранспортної системи України” (м. Черкаси, 1992 р.), на науково-технічній конференції “Нафта і газ України” (м. Сімферополь, 1994 р.), на міжнародній діловій зустрічі “Діагностика-99” (Сочі, 1999), на засіданнях Колегії Держкоменергозбереження України (1995-1997 рр.), Колегії Держнафтогазпрому України (1997-1998 рр.).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 6 друкованих робіт, (всі в фахових виданнях України), з них 3 одноосібні статті.

Структура і обсяг роботи.

Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів та загальних висновків. Загальний обсяг роботи складає 160 сторінок машинописного тексту, з них 17 ілюстрацій, 24 таблиці, список використаних джерел з 103 найменувань, додатків 3.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

В першому розділі проведено дослідження реальних режимів роботи системи газопроводів Союз, УПУ та Прогрес з метою встановлення апріорної залежності між витратами паливно-енергетичних ресурсів і обсягом транспортованого газу. Встановлено, що в діапазоні робочих режимів витрати паливно-енергетичних ресурсів зростають нелінійно і більш інтенсивно, ніж обсяги транспортованого газу.

Ринкова ідеологія постулює, що для оцінювання, аналізу і підвищення ефективності трубопровідного транспорту газу залежність між витратами енергетичних ресурсів і обсягом транспортованого газу необхідно ідентифікувати в діапазоні зміни продуктивності газопроводу від нуля до максимально можливої (технологічно досяжної) величини. Експериментально деталізувати багатофакторну залежність витрат енергетичних ресурсів від обсягів транспортованого газу в діапазоні $0 - Q_{\max}$ практично неможливо. Єдиним реальним засобом відтворення вказаної залежності, як базової виробничої характеристики (виробничої функції) газопроводу є математичне моделювання термодинамічних процесів трубопровідного транспортування газу.

Зважаючи на складність і багатоаспектність проблеми моделювання газотранспортних процесів та її тісного поєднання з методологічними аспектами формування ринкової ідеології оцінювання ефективності систем трубопровідного транспорту газу в першому розділі проведено аналіз стану провідних аспектів цієї проблеми та конкретизовані цілі, за якими сформована структура дисертаційної роботи. Запропонований в дисертації підхід до проблеми аналітичного моделювання систем трубопровідного транспорту газу та показників ефективності використання виробничих ресурсів спирається на базові закони термодинаміки процесів стиснення та розширення (власне транспортування) газу. Концепція підходу орієнтована на підвищення ефективності вирішення практичних задач: порівняльного аналізу різних стратегій розвитку і технічної реабілітації систем трубопровідного транспорту газу в умовах формування ринкових відносин; обґрунтування раціональних схем реконструкційного розвитку системи магістральних газопроводів для різних варіантних схем використання енергетичних ресурсів; аналізу фактичних режимів, віднайдення (вузьких місць) і підвищення розрахункової продуктивності газопроводів за рахунок їх розвитку і реконструкції, а також технічного переозброєння компресорних станцій магістральних газопроводів; обґрунтування обсягів використання паливно-енергетичних ресурсів на технологічні потреби; нормування

базового рівня використання встановлених на компресорних станціях потужностей з врахуванням газодинамічних характеристик магістральних газопроводів і необхідного технологічного резерву для маневрування потоками газу; оцінювання ефективності використання встановлених потужностей компресорних станцій магістральних газопроводів; оперативного планування режимів роботи магістральних газопроводів та визначення технологічних запасів і обсягів їх реалізації; перспективного планування потоків газу за мінімально достатнього рівня запасів основних (некерованих) і ситуаційно керованих виробничих ресурсів.

Відповідно до приписів ринкової економіки використовувани у газотранспортному виробництві ресурси умовно поділені на дві частини: основні фонди – виробничі приміщення, енергоукомплектування компресорних станцій, технологічна структура газопроводів та ін. і поточно змінні ресурси, залежні від обсягів транспортування газу та можливості впливати на загальну кількість всіх зайнятих у газотранспортному виробництві ресурсів. Оскільки зміна кількості ресурсів, використовуваних при транспортуванні газу, є різнотривалою в часі, то необхідно розрізняти короткостроковий і довгостроковий періоди.

Короткостроковий період – це період, за який газотранспортна галузь не може змінити якісний і кількісний склад основних (фіксованих) ресурсів, але достатньо тривалий, щоб вплинути на інтенсивність використання фіксованих ресурсів. В межах короткострокового періоду основні виробничі фонди залишаються незмінюваними, але обсяг газотранспортних послуг, а отже і ефективність використання основних виробничих фондів може змінюватись в залежності від управлінських рішень щодо поточно-експлуатаційних енергоресурсних витрат та оптимального розподілу потоків газу. Існуючі виробничі ресурси у короткостроковому періоді можуть використовуватися з різною інтенсивністю.

Довгостроковий період з точки зору газотранспортних структур – це період такої тривалості, за який можна змінити кількість всіх зайнятих у виробництві ресурсів, включаючи і виробничі потужності. З точки зору галузі довгостроковий період є достатнім, щоб в ній відбулися процеси реструктуризації: існуючі структури могли покинути галузь, а нові сформуватися і вступити в галузь. Очевидно, що довгостроковий і короткостроковий періоди відрізняються один від одного концептуально, а не за відрізком часу.

Відтак, ключовим постає питання: як буде змінюватись ефективність газотранспортних послуг в залежності від керованих витрат паливно-енергетичних ресурсів та некерованих фіксованих ресурсах виробничої структури. Пошук альтернативної відповіді на це питання складає зміст

досліджень, проведених у наступних розділах дисертаційної роботи відповідно до технологічного аспекту проблеми максимізації ефективності трубопровідного транспорту газу у короткостроковому періоді.

Другий розділ присвячено дослідженню прикладних аспектів математичного моделювання процесів трубопровідного транспортування газу як першооснови реалізації принципів оцінювання та підвищення ефективності функціонування систем магістральних газопроводів.

Для лінійних ділянок магістральних газопроводів система розрахункових моделей структурована у вигляді рівняння розподілу потенційної роботи та інтегрованого рівняння зовнішнього і внутрішнього теплообміну реального газу

Вказані рівняння мають силу за умови, що масова швидкість газу u в будь-якому перерізі трубопроводу є незмінною, тобто

$$u = (w \rho) = M / f = \text{idem},$$

де: w – лінійна швидкість газу;

ρ – густина газу;

M – масова витрата газу через площу перерізу f .

У цьому випадку коефіцієнт ДжоуляТомпсона D_i з точністю до 3 % припустимо апроксимувати формулою $D_i = a_1 + b_1 T$, в якій коефіцієнти a_1 і b_1 , залежні від робочого тиску газу, складають: $a_1 = 15,5$ К/МПа, $b_1 = 3,926 \cdot 10^{-2}$ 1/МПа в діапазоні температур $240 < T < 320$ К; і тисків $4,5$ МПа $< P < 8$ МПа, а коефіцієнт теплопередачі km розглядати як розв'язок оберненої задачі

Через наявність безпосередніх матеріальних зв'язків між окремими технологічними елементами магістральних газопроводів та розширенням параметричного простору їх функціонування принципово новою постає проблема обґрунтування вибору математичної моделі газового стану $f(P, T)$. Нормована в доринковий період будівництва надпотужних магістралей залежність $P/\rho = zRT$ у графо-аналітичному варіанті через її наближений характер та неадекватність комп'ютерних технологій розрахунків не відповідає сучасним вимогам щодо стратегії моделювання режимів роботи магістральних газопроводів. Пропоновані в літературі модифікації математичного відтворення функції газового стану за допомогою напівемпіричних рівнянь Бенедикта-Вебба-Рубіна, Бертло та інших через складність формульних залежностей і необхідність уточнення емпіричних констант також не знайшли подальшого повсюдного застосування. Іншим чинником загострення проблеми вибору рівняння газового стану в умовах непроекtnих режимів роботи газопроводів є необхідність уніфікації рівняння газового стану для всіх елементних об'єктів систем газопостачання.

Вказані залежності використані для розрахунків структури виробничої функції лінійних ділянок у вигляді залежності виконуваної газотранспортної роботи від обсягів транспортованого газу

Розрахунково доведено, що виробнича функція лінійних ділянок є нелінійною і такою, що існує діапазон продуктивності газопроводу, в якому темп зростання виконуваної газотранспортної роботи R перевищує темп зростання кількості транспортованого газу Q . Цей результат є ключем до висновку про наявність об'єктивного концептуально нового методологічного механізму оцінювання, аналізу та підвищення ефективності використання ресурсного потенціалу лінійних ділянок магістральних газопроводів.

Домінуючим фактором, який впливає на ефективність роботи потужних систем магістральних газопроводів є виробнича характеристика компресорних станцій. Математичне відтворення цієї характеристики ґрунтується на постулатах першого закону термодинаміки у вигляді ентальпійної залежності стиснутого газуїї

$$d[U + P/\rho] = di = Cp dT = (dP - dq_{\text{зовн}} + dq_{\text{тертя}}), \quad (1)$$

різновидом якої є розрахункова формула потужності компресорної станції $N_{\text{Кс}}$

$$N_{\text{Кс}} = \xi \cdot \frac{\kappa}{\kappa - 1} \cdot P/\rho \cdot \left[(\varepsilon)^{\kappa} \eta_{\text{пол}} - 1 \right] \cdot M, \quad (2)$$

в якій різниця ентальпій Δi стиснутого газу

$$\Delta i = C_{p,m,1} (T_2 - T_1) - (C_p \cdot D_i)_{m,2} (P_2 - P_1), \quad (3)$$

де: U, i – внутрішня енергія та ентальпія газу;

$q_{\text{зовн}}, q_{\text{тертя}}$ – інтенсивність зовнішнього теплообміну та роботи сил тертя;

$\kappa, \eta_{\text{пол}}$ – показник політропи стиску та політропічний к.к.д. агрегата

Коефіцієнт Джоуля – Томпсона D_i і теплоємність газу $C_p = C_p(0) + \Delta C_p$. Інтегральна величина ΔC_p враховує кількість та рівень завантаження газостискувальних агрегатів, технічний стан газових турбін, вплив температури навколишнього повітря на потужність компресорних агрегатів та ін.

При транспортованні газу з вмістом метану 85% для розрахунку теплоємності C_p можна використати наближене рівняння

$$C_p(0) = 1,4 + 2,79(\text{rch}_4) + C_p(0) \text{ ch}_4, \quad (4)$$

в якому $C_p(0) \text{ ch}_4 = 2,175 + 0,00244 \cdot T$, кДж/кгК, $\Delta C_p = P + 5,826 \cdot a_1 \cdot T^3$

При використанні вказаних розрахункових формул роботі параметри газоперекачувальних агрегатів мають задовольняти обмеженням:

$$\begin{aligned} P_{\text{вих}} &< P_{\text{вих max}}, \\ Q &> Q_{\text{min}}, \\ N_{\text{ед}} &< N_{\text{ед max}}. \end{aligned}$$

В число обмежень експлуатованих агрегатів входить також і рівень їх технічного стану.

Перевага наведених формул в тому, що вони використовуються також в практиці розрахункової діагностики функціонального стану газоперекачувальних агрегатів і, отже, слугують наскрізною основою для багатогалузевих розрахунків в галузі газової енергетики.

Обчислювальна ефективність та самодостатність (замкненість) системи моделей, що наведені в цьому розділі, доведена шляхом розрахунків витрат паливного газу від обсягів транспортованого газу та витрат паливного газу від режиму роботи газостискуючих агрегатів (ступеня стискування газу). Проведеними розрахунками доведено, що: 1) витрати паливного газу є змінюваними в залежності від номінального ступеня стискування транспортованого газу на КС газопроводу; 2) витрати паливного газу нелінійно залежать від обсягів транспортованого газу, а відтак існує оптимізаційна зона для розподілу потоків газу. За результатами модельних розрахунків окреслено головний напрямок мінімізації паливно-енергетичних витрат на трубопровідний транспорт газу і, отже, підвищення ефективності використання виробничих ресурсів магістральних газопроводів.

У **третьому розділі** розглядається застосування методів та чисельний аналіз енергоефективності систем трубопровідного транспорту газу. Одержали практичне підтвердження запропоновані методи оптимізації технологічних процесів.

Як об'єкт досліджень вибрано магістральний газопровід «Союз». Побудовано виробничі функції лінійних ділянок газопроводу від початкової Новопсков-Борова до останньої на території України Хуст – Ужгород. При побудові виробничих функцій лінійних ділянок газопроводу їх фактичний стан враховувався коефіцієнтом гідравлічної ефективності газопроводу, взятим за даними диспетчерської служби. Реальний вид виробничої функції,

побудованої для кожної з лінійних ділянок газопроводу «Союз» підтверджує теоретичне положення про те, що виробнича функція лінійної ділянки є нелінійною залежністю енерговитрат на транспортування газу від продуктивності газопроводу, яке є основою процесу оптимізації непроектованих режимів роботи.

Побудовано також за реальними даними виробничі функції для кожної з компресорних станцій, розміщених на території України, починаючи з КС Борова і закінчуючи КС Хуст. Реальний стан газоперекачувальних агрегатів на компресорних станціях оцінювався коефіцієнтами технічного стану, отриманими за результатами діагностування обладнання. Виробнича функція кожної з компресорних станцій, що являє собою залежність енерговитрат на транспорт газу від продуктивності КС, представляється параболічною кривою, що також підтверджує результати теоретичних досліджень в даному напрямку.

Одержані результати повністю підтверджують теоретичні положення про побудову виробничих функцій елементів газотранспортної системи і покладені в основу оптимізації режимів її роботи.

В четвертому розділі розроблено систему моделей для оцінювання та аналізу ефективності трубопровідного транспорту газу на основі ринкового принципу порівняння всіх надходжень і всіх витрат. Всі витрати умовно поділені на залежні (витрати паливного газу $Q_{пг}$) і не залежні від обсягів транспортованого газу $Q_{тр}$ (витрати на обслуговування основних фондів ОФ). Система моделей сформована за припущенням, що ОФ є відома ситуаційно визначена постійна величина $ОФ = const$, а "всі надходження" $Н$ пропорційні обсягу транспортованого газу $Q_{тр}$, причому так, що

$$Н = c * Q(Q_{тр}) = (Q_{пг} + ОФ). \quad (5)$$

Ці припущення дозволяють розмежувати і виокремити суто технологічний аспект проблеми підвищення ефективності трубопровідного транспорту газу. Економічний аспект винесений поза межі дисертаційної роботи.

Надходження, як залежність $Н = cQ(Q_{тр})$ і виробнича функція $Q_{пг} = f(Q_{тр})$, сукупно уможливають появу "особливої" області, яка є оптимізаційною: в цій області при ОФ ($Q_{пг} \max$) існує оптимальна продуктивність газопроводу $Q_{пг} \text{opt}$, за якої різниця між надходженнями і витратами ресурсів є максимальною, тобто

$$[Н - (Q_{пг} + ОФ)]_{\text{opt}} = [Н - (Q_{пг} + ОФ)]_{\text{max}}. \quad (6)$$

Принцип порівняння надходжень $Н$ і витрат ресурсів $Q_{пг}$ та технологія формування показника ефективності газопроводу графічно наведені на рис. 1.

Наведене рівняння дає можливість визначити ефективність оптимального режиму роботи газопроводу за різницею показником Δ_{opt}

$$\Delta \text{опт} = [N - (Q_{\text{пг}} + O\Phi)] \text{опт} . \quad (7)$$

Проте не вирішено залишається проблема повного використання виробничих ресурсів. Щоб визначити ефективність газопроводу при повному його завантаженні, в четвертому розділі запропоновано метод коригування показника $\Delta \text{опт}$, ґрунтований на розрахунках середніх енергетичних ресурсів на транспортування газу. Середні витрати СВ визначаються шляхом поділу суми керовано змінних витрат потужностей компресорних станцій газопроводів на відповідну кількість транспортованого газу $Q_{\text{тр}}$ за формулою:

$$V_{\text{сєр заг}} = \frac{O\Phi + [Q_{\text{пг}} = f(N_{\text{кє}})]}{Q_{\text{тр}}} . \quad (8)$$

Слід відзначити, що дана формула у диференційному різновиді дозволяє віднайти граничні витрати паливних ресурсів $dQ_{\text{пг}} / dQ_{\text{тр}}$ і граничну продуктивність (віддачу на витрачувані ресурси) газопроводу $dQ_{\text{тр}} / dQ_{\text{пг}}$. Це відкриває шлях до вирішення актуальної на часі проблеми обґрунтування тарифів на газотранспортні послуги. Загальновідомо, що проблема тарифікування газотранспортних послуг має стратегічне значення для газотранспортної галузі, проте в дисертаційній роботі через ринкові обмеження не обговорюється.

За результатами розрахунків відслідковується зв'язок між середніми витратами і обсягом транспортованого газу. Зокрема, можна стверджувати, що середні витрати нелінійно залежать від обсягів транспортованого газу, причому так, що існує оптимальне завантаження газопроводу, за якого середні витрати енергетичних ресурсів найменші.

Ця взаємозалежність між витратами енергетичних ресурсів і обсягом транспортованого газу покладена в основу побудови концептуально нової розрахункової формули для визначення ефективності трубопровідного транспорту газу. Розрахункова формула для прибутку Пр сконструйована у вигляді:

$$\text{Пр} = N_{\text{гтр}} - N_Q = (O\Phi + N_{\text{кємає}}) \times \left[\left(\frac{Q_{\text{опт}}}{Q_{\text{має}}} \times \frac{N_{\text{кємає}}}{N_{\text{кєопт}}} \right) - 1 \right] \quad (9)$$

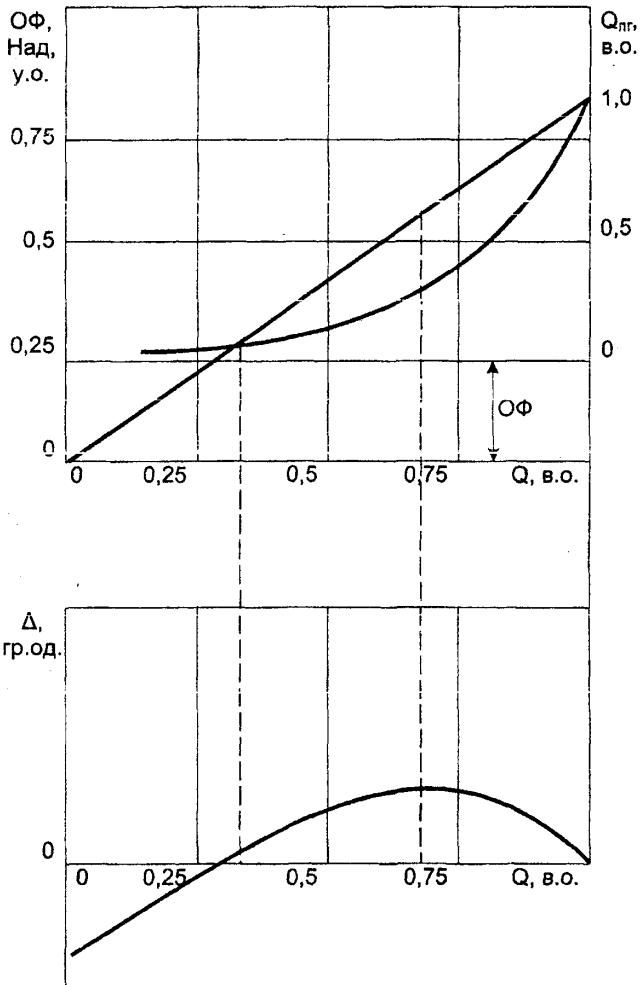


Рисунок 1 – Принцип порівняння надходжень і витрат ресурсів та технологія формування показника ефективності газопроводу.

Йї аналіз дає підставу стверджувати: коли витрати на обслуговування основних фондів ОФ надмірні і такі, що $Q_{opt} = Q_{max}$ і, отже $N_{кс\ opt} = N_{кс\ max}$, то ефективність трубопровідного транспорту газу буде нульовою, тобто газотранспортне виробництво за ринковими орієнтирами буде економічно збитковим.

За останньою формулою є можливість упорядкувати систему взаємопов'язаних показників, які відбивають кількісну відповідність між надходженнями та використанням паливно-енергетичних ресурсів конкретною газотранспортною системою. Таким чином встановити об'єктивні показники енергоємності газотранспортних послуг (вироблюваної продукції), посилити збалансованість та достовірність прогнозів, виявити резерви та стимули енергозбереження у газотранспортному виробництві, оскільки інтересам суспільства відповідає не найменша кількість, а найменш витратне використання задіяних ресурсів.

Загальні висновки

1. Вирішена проблема створення концептуально нової методичної основи для розв'язку важливих народногосподарських задач оцінювання, прогнозування та підвищення ефективності трубопровідного транспортування газу в умовах формування ринкових відносин. Проблема вирішена засобами математичного моделювання та розрахункового аналізу непроектних режимів роботи магістральних газопроводів, що породжують системну специфічність прояву нелінійної залежності витрат паливно-енергетичних ресурсів на транспортування газу від обсягів транспортованого газу. Сформульована і вирішена проблема методичного забезпечення розрахунків оптимальної продуктивності магістральних газопроводів, яка відіграє ключову роль у формуванні ринково-орієнтованих критеріїв ефективності газотранспортного виробництва. Концепція оптимізації потоків транспортованого газу є першопроходжуваною.

2. Для відтворення об'єктивно існуючої взаємозалежності між обсягом витрат виробничих ресурсів і обсягом транспортованого газу сформована система математичних моделей, ґрунтована на використанні базових законів газової термодинаміки. Запропоновано проблемно-орієнтований метод реалізації сформованої системи моделей та створено аналітичну основу моделювання непроектних режимів роботи лінійних ділянок і компресорних станцій магістральних газопроводів. На основі сформованої системи моделей встановлена специфічність залежності витрат паливно-енергетичних ресурсів від обсягів транспортованого газу. Розрахунково доведено, що витрати енергетичних ресурсів в порівнянні з кількістю транспортованого газу

зростають більш інтенсивно і нелінійно: збільшення продуктивності газопроводу на 1% призводить до збільшення енерговитрат на 3 - 5%.

3. Запропонована концепція визначення оптимальної продуктивності газопроводу, яка в ринковому середовищі формує вихідну основу для оцінювання і прогнозування ефективності використання виробничих ресурсів. Концепція ґрунтується на порівнянні надходжень з витратами ресурсів на транспортування газу. Для реалізації принципу порівняльного аналізу сформована система розрахункових моделей, на основі якої відтворена залежність оптимальної продуктивності газопроводу від обсягу витрачених ресурсів. Розрахунково доведено, що оптимальна продуктивність газопроводу суттєво залежить від структури витрачених ресурсів: якщо умовно постійні витрати перевищують витрати керовано змінних енергетичних ресурсів, то оптимальна і максимальна (технологічно досяжна) продуктивності співпадають.

4. Розроблена і досліджена концептуально нова ринково-орієнтована система моделей, яка ґрунтована на ідеї максимізації ефективності систем трубопровідного транспорту газу за рахунок ефективного і повного використання виробничих ресурсів. Запропонована система моделей дозволила аналітично відтворити взаємозв'язок між ефективністю витрачених ресурсів та рівнем завантаження магістрального газопроводу. Розрахунковою реалізацією моделей доведено, що недовикористання потужностей газопроводу на 10% при співвідношенні умовно постійних і керовано змінних витрат ресурсів у вимірі 0,5 ефективність газотранспортної системи за показником прибутковості зменшується орієнтовно на 30%. Кількісна характеристика цього співвідношення є залежною від схемної структури, фізичного зносу та реальних умов експлуатації газопроводів. Запропонована система моделей самодостатня як методичний інструмент системного аналізу причин і певних наслідків за ринковими критеріями ефективності використання ресурсного потенціалу магістральних газопроводів. Це один з найбільш реальних, відносно маловитратних та дієвих засобів оцінювання, прогнозування та підвищення ефективності магістральних газопроводів.

5. Запропоновано спосіб використання результатів виконаної роботи шляхом розробки за участю НАК "Нафтогаз України" нормативного документа "Розрахунок ринкової собівартості трубопровідного транспортування газу".

В цілому, виконана робота містить ідеологію зміни сучасних орієнтирів газотранспортного виробництва і концепцію підходу до розв'язання сукупності взаємопов'язаних проблем оцінювання вартості трубопровідного транспорту газу, рівня нормативних відрахувань на обслуговування

виробничих фондів, реструктуризації вартості основних фондів та ін.

Основний зміст дисертації опубліковано в наступних статтях :

1. Руднік А.А. Методика узагальненого оцінювання та підвищення ефективності функціонування систем трубопровідного транспорту газу. // Нафтова і газова промисловість. – 2000. - № 6 - с. 36 – 38.
2. Руднік А.А. Прикладні моделі виробничих функцій лінійних ділянок магістральних газопроводів. // Нафтова і газова промисловість. – 2001. - № 1 - с. 39 – 41.
3. Руднік А.А. Розрахункові моделі для непроєктних режимів роботи магістральних газопроводів. // Нафтова і газова промисловість. – 2001. - № 2 - с. 33 – 35.
4. Жидкова М.О., Руднік А.А. Формування системи розрахункових моделей для оцінювання ефективності функціонування лінійних ділянок магістральних газопроводів. // Экологии и ресурсосбережение. – 2001. - № 6 - с. 66 – 69.
5. Жидкова М.О., Білик С.Ф., Руднік А.А. Ринкова концепція аналізу та оцінювання ефективності трубопровідного транспорту газу. // Нафтова і газова промисловість. – 2002. - № 4 - с. 3 – 5.
6. Руднік А.А., Дубровський В.В. Основні напрямки розвитку газотранспортної системи України. // Нафтова і газова промисловість. – 1999. - № 4 - с. 35 – 38.

АНОТАЦІЯ

Руднік А.А. Методи підвищення ефективності транспортування газу - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.13. – Нафтогазопроводи, бази та сховища, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – Івано-Франківськ, 2002.

Розроблена концепція використання принципів ринкової економіки для вибору і наукового обґрунтування основних напрямів та засобів підвищення ефективності систем трубопровідного транспорту газу. Формуючим ядром концепції визначена виробнича функція систем трубопровідного транспорту газу. Створена методологічна основа математичного моделювання та розрахунків виробничої функції магістральних газопроводів з використанням базових законів газової термодинаміки.

Створена система математичних моделей для ринкового аналізу ефективності трубопровідного транспортування газу за критеріальним

показником прибутковості. Показник прибутковості визначений за ринковим принципом порівняння валових надходжень і валових витрат.

Розроблена концепція оптимальної продуктивності газопроводів, яка в ринкових умовах формує вихідну основу для оцінювання ефективності трубопровідного транспортування газу. Запропонована принципово нова система розрахункових моделей для оцінювання ефективності транспортування газу при неповному використанні виробничих ресурсів.

На основі проведених досліджень вирішена проблема науково-методичного забезпечення ключових задач порівняльного аналізу альтернативних стратегій управління функціонуванням і технічною реабілітацією систем магістральних газопроводів; підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів та обґрунтування раціональних схем реконструкційного розвитку систем газопостачання; аналізу виробничої спроможності газопроводів і підвищення їх ефективності за рахунок заходів щодо реконструкції та технічного переобладнання компресорних станцій.

Ключові слова: магістральний газопровід, моделювання, ефективність.

АННОТАЦІЯ

Рудник А.А. Методы повышения эффективности транспортирования газа – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.13 – Нефтегазопроводы, базы и хранилища. – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа. - Ивано-Франковск, 2002.

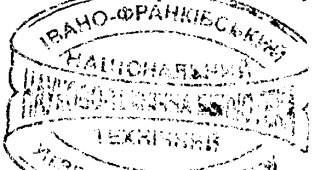
Разработана концепция использования принципов рыночной экономики для выбора и научного обоснования основных направлений и средств повышения эффективности систем трубопроводного транспорта газа. Основу концепции составляет построение системы базовых моделей для решения задач оценивания, прогнозирования и повышения эффективности трубопроводного транспорта газа в условиях технологических и экономических воздействий на стадии эксплуатации действующих, а также при реконструкционном развитии системы газопроводов Украины. Прикладная ориентация работы – повышение эффективности магистрального транспорта газа, основными единичными показателями которой являются: повышение степени использования производственной мощности действующих газопроводов; снижение удельных энергозатрат на транспорт газа, снижение себестоимости транспорта газа; увеличение фондоотдачи и получаемой прибыли от ее реализации; повышение эффективности проектов реконструкции газопроводов, определяющих оптимальные технологические параметры и технологическую схему после реконструкции.

Новизна исследования предпринята созданием научно-методической основы моделирования процессов трубопроводного транспорта газа применительно к условиям: старения и снижения технического состояния технологического оборудования газотранспортной системы; смены концепции функционирования и реконструкции газознергетической системы Украины; усиления роли экономических методов управления функционированием и развитием региональных подсистем магистральных газопроводов в рыночной системе отношений.

Естественное старение магистральных газопроводов в сочетании с диспропорцией их схемной структуры порождает принципиальную сложность и специфику проблемы математического моделирования непроектных режимов работы магистральных газопроводов. Новое качество решения этой проблемы получено путем построения единой методологической основы аналитического представления режимно-технологических моделей линейных участков газопроводов и моделей диагностирования технического состояния технологического оборудования. Органическое сочетание двух непересекающихся в проектных задачах систем моделей позволило получить новую систему моделей с неаддитивными прогностическими качествами. Высокие прогностические качества моделей дополнительно усилены расширением базовой системы критериев эффективности (минимальные расходы на эксплуатацию, минимум затрат мощности на компримирование газа, максимальная производительность газопровода и др.) за счет включения показателя себестоимости трубопроводного транспорта газа, зависящей от схемных и конструкционных решений, ресурсного резервирования, а также от режимных параметров транспорта газа и установленных правил снабжения потребителей. Отображение многообразия условий и множества факторов, воздействующих на показатель себестоимости, выполнено с использованием принципов математической теории экономического равновесия.

Предложена концепция определения оптимальной производительности магистральных газопроводов, которая в рыночных условиях предпринимает эффективность использования производственных ресурсов. Расчетным путем установлено, что оптимальная производительность газопроводов зависит от соотношения условно постоянных затрат на обслуживание основных фондов и условно переменных затрат энергетических ресурсов. Если условно постоянные затраты преобладают над энергетическими затратами, то оптимальная и максимальная производительности газопровода совпадают.

Учитывая, что энергетические затраты в определяющей мере предприняты физической сущностью газотранспортного процесса, можно заключить, что снижение нормативного уровня затрат на обслуживание основных фондов



есть главный резерв повышения эффективности трубопроводного транспорта газа. В работе приведены количественные результаты расчета зависимости эффективности трубопроводного транспорта газа от соотношения постоянных и переменных затрат.

Предложенные в работе методы интегрирования моделей производственных функций магистральных газопроводов с рыночными моделями эффективности газотранспортного производства позволяют решить проблему формирования уровня условно постоянных затрат во взаимосвязи с решением проблемы реструктуризации стоимости основных фондов. В этом заключена новизна предложенной в работе концепции смены дорыночных ориентиров эффективности трубопроводного транспорта газа и рационального использования ресурсного потенциала систем газоснабжения.

Ключевые слова: магистральный газопровод, моделирование, эффективность.

ABSTRACT

Rudnik A.A. Development of methods for forming of resource saving technologies of pipeline gas transportation. - Manuscript.

Dissertation for competition of scientific degree of a candidate of technical sciences at speciality 05.15.13 – Oil and gas pipelines, plants and storages. - Ivano-Frankivsk national technical university of oil and gas. – Ivano-Frankivsk, 2002.

Concept of market economy principles usage is developed for choice and scientific justification of main ways and facilities of gas pipeline transportation systems performance raise. The basic core of the concept is production function of gas pipeline transportation systems. Methodological basis of mathematical modeling and calculations of production function of gas mains are created using basic laws of gaseous thermodynamics.

System of mathematical models for market analysis of gas pipeline transportation performance is designed according to criteria index of profitability. Profitability index is determined according to the market principle of bulk invadings and bulk expenditures comparison.

Concept of optimum efficiency of gas pipelines is designed and it forms a basis for estimation of gas pipeline transportation performance in market conditions. Absolutely new system of calculated models for estimation of gas transportation performance is proposed using production resources.

Different problems are solved on the basis of conducted studies: a problem of scientific-methodical supply of key problems for comparative analysis of alternate strategies of operational management and technical rehabilitation of gas mains systems; a problem of usage performance raise of fuel and energy resources and conditioning of rational outlines of reconstruction gas supply systems development; a problem of production capacity analysis of gas lines and raise of their performance at the expense of means towards reconstruction and technical modernization of compressor stations.

Keywords: gas main, simulation, performance.