

Н. Притула
ІППММ ім. Я.С. Підстригача НАН України,
ТзОВ “Математичний центр”

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ГАЗОТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

© Притула Н., 2013

Проаналізовано проблеми знаходження оптимальних режимів роботи газотранспортних систем. Наведено перелік факторів, які впливають на оптимальність окремих підсистем і системи транспортування газу, загалом. Знайдені оцінки потенціалу оптимізації для окремих технологічних об'єктів і підсистем газотранспортної системи. Запропоновані способи вирішення проблеми.

Ключові слова: газотранспортна система, потенціал оптимізації, оптимальний режим, компресорна станція, підземне газосховище.

The analysis of problem of finding of optimum operating modes of gas transmission systems is carried out. The list of factors which influence an optimality of separate subsystems and the gas transmission system as a whole is given. Estimates of optimization potential for separate technological objects and subsystems of the gas transmission system are found. Problem solutions are offered.

Key words: the gas transmission system, an optimization potential, an optimum mode, a compressor station, an underground gas storage.

Вступ

Газотранспортна система постійно працює в нестационарному режимі, що зумовлює змінність її паливно-енергетичних затрат. Ці затрати є значними і тому важлива її робота в режимах, близьких до оптимальних. Оптимальна робота газотранспортної системи (ГТС) пов'язана з багатьма факторами: наявністю достатнього об'єму акумульованого газу в трубопроводах та підземних газосховищ (ПСГ), сезонністю роботи газосховищ, нерівномірністю відборів з системи та надходження в систему газу тощо. Вагомим фактором є людський. Вчасне прийняття рішення про зміну режиму транспортування газу може дати значний економічний ефект. Для швидкого оцінювання діючого режиму, за наявності певного прогнозу на параметри газу на його входах та виходах, потрібно мати заздалегідь проведені дослідження на встановлення ділянки оптимальної роботи магістральних газопроводів (МГ). Зазвичай прогнози справджуються далеко не повною мірою. І тому ділянка оптимальності повинна формуватися з використанням мінімальної інформації, в умовах існування невизначеності.

Газотранспортну систему проектували під певне номінальне її завантаження. Останніми роками завантаження системи значно знизилось (різко зменшився як транзит газу в Європу, так і його споживання в межах країни), що зумовлює роботу ГТС в непроєктних режимах. До непроєктних режимів належить робота ГТС частково в реверсних режимах (по окремих ділянках газопроводів) як для забезпечення внутрішніх споживачів газом, так і для надходження газу в систему.

Крім відзначеного, інформація про оптимальні режими останніми роками стала актуальною і для оцінювання мінімальних фінансово-технічних ресурсів на модернізацію ГТС. Тільки оптимальний режим дає відповідь на запитання, цехи яких компресорних станцій (КС) та які ділянки газопроводів насамперед потрібно модернізувати. Крім того, можна отримати відповідь і на вибір ГПА як за типом приводу, його потужності, так і типом відцентрового нагнітача, щоб під час їх експлуатації в прогнозованих режимах, використовувалися мінімальні паливні та енергетичні ресурси.

Розглянемо основні фактори впливу на режим ГТС. Серед основних варто виділити добові та сезонні коливання споживання газу, сезонність процесів нагнітання газу в газосховища та його відбирання. Важливими є, так звані, пікові (максимальні) навантаження на систему. у такому режимі відбувається максимальний відбір газу із системи і, відповідно, максимальний відбір газу із газосховищ.

Не повна завантаженість системи не вимагає повною мірою використовувати весь потенціал наявних газосховищ. Раніше, в зимовий період, за недостачі пропускної спроможності, експортні об'єми газу забезпечувались газосховищами на заході України. Сьогодні за надлишку пропускної спроможності, виникли ще завдання на оптимальне планування роботи газосховищ та управління їх режимами протягом сезону відбирання газу. Серед таких завдань – встановлення об'ємів зберігання газу, його розміщення по сховищах за об'ємами, формування режимів роботи всіх та груп технологічно поєднаних ПСГ так, щоб, відбираючи газ зі сховищ, залишковий активний газ забезпечував максимальну сумарну їх піковість.

Має місце проблема: для змінних початково-крайових умов на витрату газу дослідити ділянку оптимальності роботи ГТС, сформулювати умови оптимальності роботи технологічно пов'язаних магістральних газопроводів та знайти ділянки їх оптимальної роботи як функцій від сумарних витрат газу на їх входах та виходах для заданих об'ємів акумульованого газу в трубопроводах.

Характеристика об'єкта дослідження

Основні експортні потоки проходять по одно- та багатониткових МГ як з однаковими, так і з різними номінальними тисками газу. Перетоки газу між підсистемами з різним номінальним тиском регулюються байпасними кранами, редукторами, регуляторами витрати тощо. У разі відкриття байпасного крана (його внутрішній діаметр значно менший за внутрішні діаметри ділянок газопроводів) відбувається редукування газу з пониженням температури газу. Редуктори вимагають встановлення тиску газу на його виході. Якщо на виході редуктора тиск газу є меншим за встановлений, тоді через редуктор проходить газ. Витрата газу на регуляторі витрати газу залежить від перепаду тиску на його вході та виході. Зазвичай, нитки багатониткового МГ обладнані компресорними станціями з різнотипними газоперекачуючими агрегатами (ГПА) за потужністю і буває, що ГПА на різних нитках мають різнотипні приводи (електроприводи, газотурбінні).

Критерії оптимальності режиму роботи ГТС

Критерій, який застосовується найчастіше, – мінімальні паливно-енергетичні затрати. Близький до цього критерію – мінімальна сумарна робота всіх ГПА, задіяних в режимі. Важливим є, за умов змінних режимів, стабільність роботи КС за кількістю ГПА, що забезпечується певною віддаленістю характеристик відцентрових нагнітачів від зони помпажу (нестійкої роботи ГПА). Часте ввімкнення та вимкнення ГПА негативно впливає на його технічні характеристики. Через постійну завантаженість ГТС менш актуальним став критерій на максимальний потік газу. Його частіше використовують у разі виникнення штатних та нештатних ситуацій, пов'язаних із обмеженням пропускної спроможності ГТС.

За аналогією з автотранспортними перевезеннями, в транспорті газу використовують такий показник, як товаротранспортна робота (ТТР), який розраховується як добуток об'ємів транспортованого газу, дальності транспортування та використання паливно-енергетичних затрат на одиницю ТТР. Для кожного виробничого підрозділу ТТР – це сума ТТР всіх ділянок, по яких проходить газ. Очевидно, що величина ТТР залежить від топології мережі (стану запірно-регулюючої арматури), розподілу об'ємів акумульованого газу по ділянках газопроводів та його динаміки зміни, що впливає на режим роботи КС, температурного режиму транспортування газу і від багатьох інших факторів.

Це підтверджує, що зв'язок між оптимальною роботою ГТС і мінімальними затратами на ТТР не є однозначним. Зрозуміло, що для оцінки якості роботи ТТР виробничих підрозділів, особливо за умов незавантаженості ГТС, наведені паливно-енергетичні затрати на її виконання не можуть бути використані (можливі підрозділи, в яких буде присутньою ТТР за умов відсутності КС в роботі).

**Оптимізація, оптимальне планування,
оптимальне керування за наявних умов невизначеності**

№ з/п	Об'єкт	Критерій оптимальності	Основні фактори впливу на оптимальність	Фактори, які породжують невизначеність
1	Лінійна ділянка	Мінімальні втрати тиску	- коефіцієнт гідравлічного опору - тиск газу на вході - коефіцієнт теплопередачі газ – зовнішнє середовище	Недостатня кількість замірів, точність вимірювання, несинхронність вимірювання
2	ГПА	Приведені затрати	- параметри ВН - політропне к.к.д. - к.к.д. приводу	Постійна зміна режимів
3	КЦ	Приведені затрати	- схема роботи КЦ - режим роботи ГПА	Точність прогнозу режимних параметрів
4	Багатоцехова з різнотипними ГПА КС	Приведені затрати	- схема роботи КЦ - режим роботи ГПА - завантаження цехів	Недостатньо замірів витрати газу
5	Пласт ПСГ	Робота в технологічних обмеженнях	- режим нагнітання - темп входження в режим - параметри вибійної зони	Режим відбирання газу
5	Багатошарова система	Робота в технологічних обмеженнях	- система взаємодії пластів (через - - перфорацію чи на ГЗП) - режим нагнітання в пласти - якість розкриття вибою	Геометрія та неоднорідність пластів, заміри тиску в окремих свердловинах, відсутні заміри дебіту свердловин
6	ПСГ	Оптимальна робота ДКС	тиск газу в магістральному газопроводі	
7	Групи технологічно поєднаних ПСГ	Паливно – енергетичні затрати на сезон роботи	- розподіл газу між пластами - режими відбирання з пластів	Прогноз відбирання газу
8	Магістральний газопровід	Паливно – енергетичні затрати	розподіл об'єму акумульованого газу в МГ між його ділянками	Прогноз надходження газу
9	Багатонитковий магістральний газопровід	Паливно – енергетичні затрати	- при виведені з роботи окремих цехів, що можливо тільки при транспортуванні газу при незначних об'ємах	Прогноз надходження та відбирання газу
10	ПСГ і МГ	Сумарні паливно-енергетичні затрати	Режим транспортування, відбирання, заповнення ПСГ газом пов'язані	Прогноз початково – крайових умов

Фактори впливу на потенціал оптимізації

Основним завданням є виявити та реалізувати наявний потенціал оптимізації.

Газопроводи. Потенціал оптимізації можна оцінити за: розподілом об'ємів акумульованого газу вздовж ділянок магістрального газопроводу; об'ємом акумульованого газу в МГ для заданих об'ємів транспортування газу; відхиленням коефіцієнтів гідравлічного опору від встановлених нормативних для заданого коефіцієнта шорсткості внутрішніх стінок ділянок газопроводу; температурним режимом транспортування газу; ступенем нестационарності режиму МГ та характером перехідних режимів.

Багатониткові газопроводи. Потенціал оптимізації можна реалізувати: перерозподілом об'ємів акумульованого газу між нитками газопроводу за фіксованих об'ємів його транспортування; за незначних об'ємів транспортування газу можливо доцільно на ділянках окремих ниток газ не компримувати (тобто окремі КЦ можуть працювати в режимі на прохід); підтримкою близьких режимів транспортування газу по нитках багатониткового газопроводу, за винятком випадків пропуску газу по окремих нитках в обхід цехів КС.

Багатоцехові КС з різнотипними ГПА. Потенціал оптимізації реалізовується: перерозподілом об'ємів газу, в процесі його компримування, між цехами КС; оптимальним завантаженням ГПА в кожному цеху; узгодженим режимом роботи КС з режимом роботи прилеглих ділянок газопроводу; компромісом між оптимальністю та надійністю режиму роботи ГПА КС.

Підземні газосховища. Оптимальна робота вимагає: узгодженого режиму роботи ПСГ з роботою МГ; у разі водонапірного режиму – узгодження темпів відбирання та темпів просування контуру води; при заданих об'ємах зберігання, в гідравлічно незв'язних пластах багато пластових пластів – колекторів, оптимально розподілити об'єми між ними; оптимального об'єму буферного газу, який пов'язаний з можливостями регулювання тиску в магістралі; використання в повній мірі періодів безкомпресорного нагнітання та відбирання газу (є можливість їх встановлення при заданих планах нагнітання та відбирання газу; узгодженого тиску газу в магістральному газопроводі.

Групи технологічно поєднаних газосховищ. Оптимальна робота пов'язана з виконанням таких завдань: планові об'єми зберігання газу розподілити між сховищами так, щоб забезпечити сумарну максимальну піковість при відбиранні, а також максимальну середню піковість на прогнозованому інтервалі часу відбирання; планові об'єми відбирання газу розподілити між сховищами так, щоб підтримувати максимальну піковість газосховищ на прогнозованому інтервалі часу в процесі його відбирання; розробити таку стратегію оптимального управління газосховищами, щоб задовольнити зважений критерій оптимальності, який включає параметри піковості та затрат паливно-енергетичних ресурсів.

Газотранспортна система. Необхідною умовою оптимальної роботи системи, за заданих об'ємів транспортування газу, є певний об'єм акумульованого газу в його трубопроводах.

Об'єми зберігання газу. Об'єми зберігання газу пов'язані із врахуванням забезпечення балансу газу на період опалювального сезону та пікових навантажень в осінньо-зимовий період. Сумарна піковість газосховищ пов'язана з сумарними об'ємами зберігання газу, його розподілом по газосховищах та можливими мінімальними тисками в магістралях – відводах від ДКС до МГ.

Групи технологічно поєднаних газосховищ і магістральних газопроводів. Для ефективного розподілу газу по групах технологічно поєднаних газосховищ потрібно використати розподіл навантаження на ГТС регіонів, особливо в умовах пікових навантажень, які примикають до груп газосховищ.

Керування газопотоками в ГТС

Оперативне оптимальне керування газопотоками в ГТС вимагає створення комплексу моделювання нестационарних режимів роботи газотранспортних систем (ГТС) в оптимізаційній постановці. Через складність ГТС ця проблема в загальному випадку сьогодні ще є невирішеною. Зміна параметрів керування, переважно, пов'язується з оперативним станом системи, використанням критеріїв оптимізації та принципів оптимального керування і не вимагає їх точного виконання в повному обсязі. Газотранспортна система на значних інтервалах часу працює не оптимально і має значні резерви по економічних, екологічних, енергетичних і інших критеріях.

Нині більшість основних завдань фундаментального плану є достатньо вивченими [1–5]. Часто ефективність використання розроблених систем не пов'язана із їх якістю, а швидше з неможливістю їх включення в загальний процес формування керування системою.

Задача полягає у формуванні оптимального управління режимами роботи всіх компресорних станцій системи на часовому інтервалі часу $[0, t]$ з ціллю мінімізації затрат на транспортування газу, тобто мінімізацію сумарної вартості газу, витраченого газотурбінними установками і електроенергії на електропривідних установках.

Компонентами вектора керування є зміни: стану запірної та регулюючої арматури; продуктивності КС (зміна обертів відцентрових нагнітачів, кількості ГПА); відборів газу з системи, або його надходження в систему (регуляторами тиску або витрати); гідравлічних опорів об'єктів.

Оптимальне керування газопотоками. Варіанти алгоритму

Основна проблема: оптимізація нестационарних режимів. Будемо вважати, що керування газопотоками здійснюється тільки зміною потужності КС. Для його формування необхідні умови на зміну параметрів керування. Такими умовами можуть бути технологічні статичні та динамічні обмеження (технологічні коридори). Проблемою є вибір величини параметрів керування, які впливають на темп зміни параметрів потоків газу.

Варіант 1. У межах технологічних коридорів. Зміна керування проводиться за наближення газодинамічних процесів до технологічних меж. Вибір величини параметра керування проводиться так, щоб газодинамічний процес відійшов від технологічної межі, зазвичай по тиску.

Варіант 2. У межах динамічних технологічних коридорів. Динамічні технологічні межі формуються на основі об'ємів акумульованого газу в системі і об'ємів транспортування газу. Цей варіант є оптимальнішим, оскільки темп перебігу газодинамічних процесів вибирають таким, щоб в підсистемах і в системі загалом підтримувати певний розрахований середній тиск.

Варіант 3. У напрямку до оптимального прогнозного режиму. Цей варіант є найскладнішим. Він полягає в тому, що параметри керування формуються залежно від прогнозного оптимального режиму на заданий час. Залежно від характеру зміни граничних умов прогнозний режим за часом може бути віддаленим від реального на різну часову величину. Маючи оптимальний прогнозний режим, керування вибирається так, щоб наявний режим перевести в прогнозований.

Про потенціал оптимізації та його реалізація

Витрата паливного газу істотно залежить від об'ємів транспортування газу. Зв'язок між витратою паливного газу та об'ємами транспортування газу є нелінійним (табл. 2).

Таблиця 2

Витрата та приведена витрата паливного газу під час транспортування газу по двох нитках газопроводу з діаметрами 1400 мм

№ з/п	Транспорт (млрд. м ³ /рік)	Пал. газ (млрд.м ³ /рік)	Приведені затрати (%)
1	21.9	0.25	1.14
2	36.5	0.5	1.36
3	43.8	1	2.28
4	58.4	2.5	4.28

Центральним завданням, при плануванні режимів, є автоматизація процесу пошуку оптимального режиму в стаціонарному випадку. На складність автоматизації впливає існуюча технологія транспортування газу. Оптимальний стаціонарний режим для заданих прогнозних вхідних даних формується способом коригування розподілу потоків по магістральних газопроводах. Оптимізація проводиться в два заходи – спершу коригуються потоки газу, а після поводиться перерозподіл потоків між цехами багатощехових КС. Такі дії проводяться доти, поки не

досягнемо мінімальний об'єм паливно-енергетичних ресурсів. Перебірний алгоритм є цілеспрямованим. Під час його розроблення враховано властивості оптимального режиму як окремих ниток, так і системи газопроводів поєднаних технологічно.

Для вивчення потенціалу оптимізації проведені числові експерименти на програмному комплексі **“ГТС режим”**. Точність розрахунку залежить від точності адаптації математичних моделей технологічних об'єктів. Адаптація моделей на замірах отриманих за кілька діб є в межах проценту. Основну частину похибки обчислення становить систематична похибка, яка на точність розрахунку відносних величин має незначний вплив.

Наведемо результати одного із числових експериментів який полягав у вимкненні одного із цехів трицехової компресорної станції Гусятин (рис. 1). Результати наведені в табл. 3.

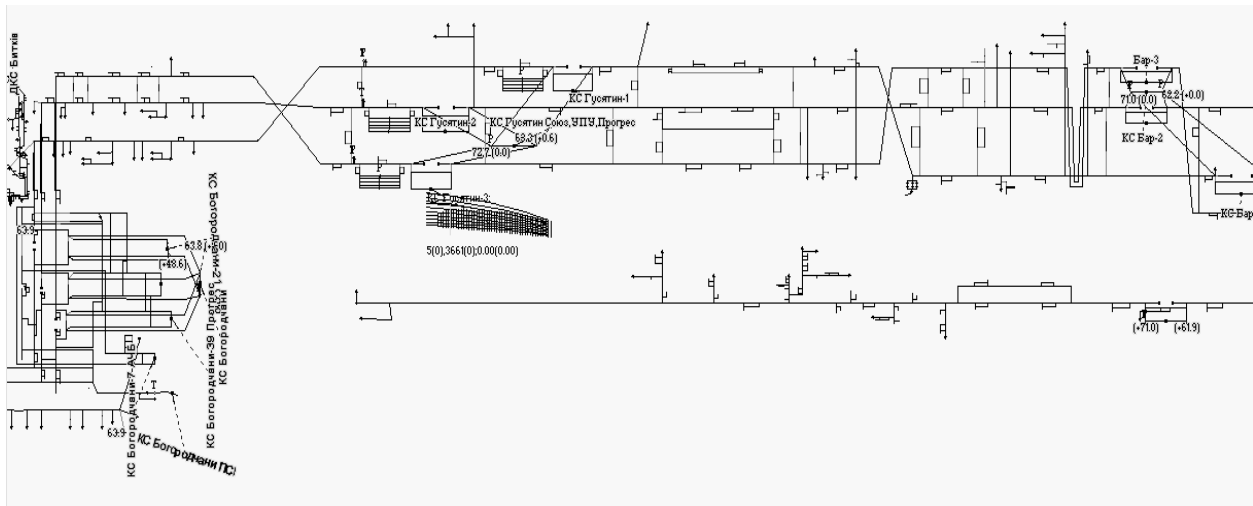


Рис. 1. Фрагмент технологічної схеми триниткового газопроводу

Таблиця 3

Сумарна продуктивність по трьох нитках (млн.м3/добу)	Витрата паливного газу (паралельно працюючі цехи) (млн.м3/добу)	Витрата паливного газу (один цех на прохід) (млн.м3/добу)
150	0,33	0,24
180	0,42	0,38
210	0,53	0,5
230	0,67	0,66

Результати моделювання роботи триниткового газопроводу

Так мінімізація кількості працівників ГПА може забезпечити зменшення паливного газу на режим КЦ в межах 3–11%. Перерозподіл витрати газу між однотипними ГПА, дозволяє в окремих випадках (далеко не у всіх) зменшити використання паливного газу не більше 1%. Перерозподіл потоків газу між магістральними газопроводами (МГ) може забезпечити економію паливного газу в межах 3–4%. Вказаний потенціал оптимізації можна виявити, переважно, засобами моделювання. Під час реалізації потенціалу потрібно бути впевненим, що затрати на реалізацію потенціалу не перевищать очікуваний ефект. Перерозподіл потоків між цехами багатоцехових КС дає змогу зменшити споживання паливного газу в межах 6–8% (не враховано впливу зміни гідравлічних втрат на перепускання газу між цехами). Вчасний перехід із дво-, триступеневого стиску газу на одно-, двоступеневий стиск газу дає економію паливного газу до 23%. Економію енергоресурсів можна отримати і при вчасному виведенні окремих ГПА, які працюють в режимі вентилятора, та вчасному переході на режим роботи ГТС при виведенні з режимів окремих цехів та КС (при різкому зменшенні об'ємів транспортування газу). Перерозподіл об'ємів акумульованого газу, наявного в системі, між окремими підсистемами, включаючи його зміну за рахунок ПСГ, дає до 5% економії.

Використання цього потенціалу економії можна буде досягнути в результаті впровадження системи формування параметрів керування газопотоками в ГТС. Управління температурним режимом транспорту газу – охолодження газу АПО (управління вентиляторами – кількістю та частотою обертання) протягом року (економія в певні періоди можлива до 5% за паливним газом, а також можливе збільшення пропускної здатності магістрального газопроводу до 3%). Наведені вище оцінки ефективності отримані із використанням програмного моделюючого комплексу.

Висновки

Важливим є не тільки планування оптимальних режимів, а також формування оптимальних перехідних режимів із заданого у спланований оптимальний режим. Складність формування оптимальних нестационарних режимів полягає в тому, що оптимальність режимів роботи ГТС на значному інтервалі часу, без врахування часу перехідних режимів, не гарантує оптимальності роботи протягом всього часу моделювання. Може виявитися, що неоптимальна робота на багатьох часових інтервалах забезпечить оптимальність на всьому інтервалі часу роботи ГТС. У таких випадках пошук оптимальних режимів вимагатиме доволі точного прогнозу початково-крайових умов, що в реальних умовах є проблематичним.

1. Панкратов В.С. Автоматизированная система диспетчерского управления ГТС/ Панкратов В.С., Вербило А.С. – М.: Изд-во ООО "ИРЦ Газпром", 2002. –98 с. 2. Сарданашивили С. А. Расчетные методы и алгоритмы/ Сарданашивили С. А. – М.: Изд-во "Нефть и газ", 2005. – 577 с. 3. Селезнев В. Е. Методы и технологии численного моделирования газопроводных систем / Селезнев В.Е., Алешин В. В., Клишин Г. С. – М.: Едиториал УРСС, 2002. – 448 с. 4. Бобровский С. А. Трубопроводный транспорт газа/ Бобровский С. А. Щербаков С. Г., Яковлев Е. И. – Москва: Наука, 1976. – 475 с. 5. Ю. Сінчук, Н. Притула, М. Притула. Моделювання нестационарних режимів газових мереж // Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка". Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – Львів, – 2010. – №663. – С. 128–132.