

ТРАНСПОРТ І ЗБЕРІГАННЯ НАФТИ І ГАЗУ

УДК 622.691.4.07

ВИЗНАЧЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ КІЛЬКАНИТКОВОГО ГАЗОПРОВОДУ ПРИ РОБОТІ З ВІДКРИТИМИ ПЕРЕМИЧКАМИ НА ВХОДІ І ВИХОДІ КОМПРЕСОРНИХ СТАНЦІЙ (КС)

*М.Д.Середюк, А.І.Ксенич, М.І.Фик**ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел.(03422) 42166
e-mail: tzng@nung.edu.ua*

Разработаны методология, вычислительный алгоритм и программное обеспечение для определения пропускной способности многониточного газопровода при любой комбинации открытых перемычек между нитками на входе и выходе компрессорных станций. С помощью разработанных алгоритмов и программы исследовано влияние ряда факторов на пропускную способность и режимы работы трёхниточной газотранспортной системы на участке КС Бар – КС Богородчаны.

Designed methodology, computing algorithm and software for the determination of reception gas pipeline's peak capacity with any combinations of open locks between pipelines in and out of compression stations. Was done research of influence of ambient conditions and other factors on pipeline's carrying peak capacity and mode of working tree gas pipelines in the CS Bar-CS Bogorodchany's area using the aforementioned software.

Як зазначено в [1], кільканиткові газотранспортні системи України оснащені перемичками між нитками як на вході і виході кожної КС, так і на трасі газопроводів. З цієї причини складні за структурою газотранспортні системи можуть транспортувати газ за різними схемами роботи.

У роботі [1] запропоновані методика визначення пропускної здатності кільканиткового газопроводу при одночасно відкритих перемичках на вході і виході кожної компресорної станції.

Метою досліджень, результати яких наведені нижче, є розробка методології та обчислювальних алгоритмів визначення пропускної здатності кільканиткового газопроводу при будь-якій комбінації відкритих перемичок як на вході, так і на виході компресорних станцій.

Відкриття будь-якої перемички на вході чи виході компресорних станцій змінює параметри кільканиткового газопроводу як складної газодинамічної системи. При цьому пропускна здатність кільканиткового газопроводу, режим роботи кожної КС та витрата газу на кожній ділянці можуть помітно відрізнитись від відповідних параметрів роботи газопроводів при їх автономній роботі.

Обчислювальний алгоритм визначення пропускної здатності кільканиткового газопроводу при роботі з відкритими перемичками на

вході та виході компресорних станцій базується на використанні таких розрахункових блоків, характеристика яких наведена в [1]: блок розрахунку фізичних властивостей природного газу; блок розрахунку наявної потужності газотурбінного привода газоперекачувальних агрегатів компресорної станції; блок математичного моделювання зведених газодинамічних характеристик відцентрових нагнітачів; блок розрахунку режиму роботи газоперекачувальних агрегатів компресорної станції; блок розрахунку витрат газу на власні потреби компресорної станції; блок теплогідравлічного розрахунку ділянки газопроводу.

Розраховані параметри режиму роботи КС повинні бути перевірені на виконання технологічних обмежень щодо максимального тиску, мінімальної зведеної витрати газу через нагнітачі і максимальної потужності, спожитої відцентровими нагнітачами.

Нехай газотранспортна система має n_{kc} компресорних станцій і n_g паралельних ниток газопроводів. Параметрам роботи компресорних станцій і лінійних ділянок газопроводів присвоюємо два індекси, перший із них i - вказує номер компресорної станції і прилеглого перегону на трасі газопроводу, другий j - вказує номер нитки газопроводу. Вводимо двовимірні масиви вхідних даних для розрахунку ре-

жимів роботи компресорних станцій і лінійних ділянок кільканиткової газотранспортної системи.

Розраховуємо фізичні властивості природного газу. Використовуючи відповідний розрахунковий блок, визначаємо наявну потужність газотурбінних установок для привода нагнітачів на кожній компресорній станції. Виконуємо математичне моделювання зведених газодинамічних характеристик кожного типу відцентрових нагнітачів, що установлені на компресорних станціях кільканиткового газопроводу. У результаті для кожного нагнітача одержуємо математичні моделі його напірних та енергетичних характеристик у вигляді поліномів третього степеня.

На першій КС для кожної нитки газопроводу задані значення абсолютного тиску $P_{вс1j}$ і температури газу $T_{вс1j}$ на вході у нагнітачі. Задані також значення абсолютного тиску газу на вході в нагнітачі кінцевої компресорної станції КС $(n_{кc} + 1)j$ $P_{всн(n_{кc}+1)j}$.

Вважаємо, що на вході і виході кожної КС передбачені перемички, які можуть бути у відкритому чи закритому положенні. Відкриття будь-якої перемички призводить до вирівнювання тиску на вході чи виході відповідних компресорних станцій, що у свою чергу викликає зміни режимів роботи кожної із компресорних станцій і відповідних ділянок газопроводів.

Вводимо масив коефіцієнтів, які визначають схему роботи перемичок. Для відкритої перемички на вході КС приймаємо $ik1_{ij} = 1$, для закритої – $ik1_{ij} = 0$. Для відкритої перемички на виході КС приймаємо $ik2_{ij} = 1$, для закритої – $ik2_{ij} = 0$. Наприклад, для газотранспортної системи, що складається з трьох ниток ($j = 3$), на кожній із яких є два перегони ($i = 2$), при відкритті перемичок на вході кожної із шести КС масив значень коефіцієнтів має вигляд

$$ik1_{11} = 1, \quad ik1_{12} = 1, \quad ik1_{13} = 1, \\ ik1_{21} = 1, \quad ik1_{22} = 1, \quad ik1_{23} = 1.$$

Для випадку, коли перемичками на виході КС з'єднані тільки перший і другий газопроводи, а третій працює окремо, масив значень коефіцієнтів має вигляд

$$ik2_{11} = 1, \quad ik2_{12} = 1, \quad ik2_{13} = 0, \\ ik2_{21} = 1, \quad ik2_{22} = 1, \quad ik2_{23} = 0.$$

Для визначення пропускної здатності кільканиткової газотранспортної системи при відкритих перемичках на вході чи виході компресорних станцій необхідно мати перше наближення тиску газу на вході та виході спільнопрацюючих компресорних станцій.

Для кожної нитки газопроводу на кожному перегоні, використовуючи описаний в [1] алгоритм, визначаємо тиск газу на нагнітанні КС $P_{нагаij}$ та у кінці прилеглої ділянки газопроводу $P_{каij}$ при витраті газу, що відповідає пропу-

скній здатності газопроводів при їх автономній роботі Q_{aij} . Як перше наближення тиску на вході і виході i -ої КС приймаємо середнє арифметичне значення зазначених тисків газу для тієї кількості ниток, які з'єднані відкритими перемичками (на виході n_{g2i} , на вході n_{g1i})

$$P_{нагоi} = \frac{\sum_{j=1}^{n_{g2i}} P_{нагаij}}{n_{g2i}}, \quad (1)$$

$$P_{коi} = \frac{\sum_{j=1}^{n_{g1i}} P_{каij}}{n_{g1i}}. \quad (2)$$

Задаємося першим наближенням об'ємної витрати газу через нагнітачі першої КС, яка працює на j -ий газопровід (КС 1J)

$$Q_{1j} = Q_{a1j}. \quad (3)$$

Використовуючи блок розрахунку режиму роботи КС, виконуємо розрахунок режиму роботи першої КС на j -ому газопроводі при номінальній обертовій частоті нагнітачів $n = n_n$, перевіряючи при цьому виконання технологічних обмежень параметрів роботи. При порушенні будь-якої із зазначених умов приймається рішення про зменшення обертової частоти нагнітачів відповідної КС. Далі розрахунки повторюються до досягнення умов виконання всіх технологічних обмежень.

При закритій перемичці на виході КС, тобто при виконанні умови

$$ik2(1, j) = 0 \quad (4)$$

як перше наближення необхідного тиску на виході першої КС приймаємо тиск нагнітання, що відповідає автономній роботі відповідної нитки

$$P_{нагн1} = P_{нага1j}. \quad (5)$$

При відкритій перемичці на виході зазначеної КС як перше наближення необхідного тиску на виході першої КС приймаємо середнє значення тисків нагнітання при автономній роботі відповідних газопроводів

$$P_{нагн1} = P_{наго1}. \quad (6)$$

При виконанні умови

$$\left| P_{наг1j} - P_{нагн1} \right| < \varepsilon_p \quad (7)$$

розрахунок КС 1j для даної ітерації завершений.

Інакше при виконанні

$$P_{наг1j} < P_{нагн1} \quad (8)$$

зменшується витрата газу через нагнітачі першої КС j -ого газопроводу за умовою

$$Q_{1j} = Q_{1j} - \Delta Q, \quad (9)$$

а при виконанні умови

$$P_{наг1j} > P_{нагн1} \quad (10)$$

збільшується витрата газу через нагнітачі відповідної КС за умовою

$$Q_{1j} = Q_{1j} + \Delta Q. \quad (11)$$

У результаті знаходимо витрати газу через нагнітачі кожної із КС, що працюють на перший перегін, при яких тиск газу на нагнітанні при відкритих перемичках однаковий і рівний прийнятому значенню тиску $P_{нагн1}$.

Для зменшення тривалості обчислень і запобігання виходу за межі адекватності математичних моделей коригуємо необхідне значення тиску на виході КС, що працюють на перший перегін. Для цього спочатку знаходимо суму витрат газу через нагнітачі зазначених КС

$$Q_{сум1} = \sum_{j=1}^{ng} Q_{1j}. \quad (12)$$

Знаходимо прогнозоване значення сумарної витрати газу на виході першої КС після відкриття перемичок, базуючись на результатах визначення пропускної здатності системи при автономній роботі ниток

$$Q_{сум1}^{np} = Q_{сум1} + \Delta Q_{пер}^{kc}, \quad (13)$$

де: $Q_{сум1}$ – сумарна витрата газу на виході першої КС при автономній роботі ниток газопроводів;

$\Delta Q_{пер}^{kc}$ – прогнозована зміна пропускної здатності системи, спричинена відкриттям перемичок на вході чи виході КС.

При виконанні умови

$$|Q_{сумi} - Q_{сумi}^{np}| < \varepsilon_{qs}, \quad (14)$$

розрахунок КС 1 j для даної ітерації завершений.

Інакше при виконанні

$$Q_{сумi} < Q_{сумi}^{np} \quad (15)$$

зменшується необхідний тиск газу на виході першої КС за умовою

$$P_{нагн1} = P_{нагн1} - \Delta P, \quad (16)$$

а при виконанні умови

$$Q_{сумi} > Q_{сумi}^{np} \quad (17)$$

збільшується необхідний тиск газу на виході першої КС за умовою

$$P_{нагн1} = P_{нагн1} + \Delta P. \quad (18)$$

Далі розрахунки повторюються, починаючи з визначення витрати газу через першу КС, що працює на першу нитку газопроводу.

Обчислюємо витрати газу на власні потреби першої КС j-ого газопроводу $Q_{кc1j}$.

Переходимо до теплогідрравлічного розрахунку першого перегону на j-ому газопроводі довжиною L_{1j} . Як перше наближення приймаємо, що витрата газу на зазначеній ділянці дорівнює витраті газу через нагнітачі відповідної КС

$$Q_{лініj} = Q_{1j}. \quad (19)$$

Знаходимо температуру газу на початку ділянки $T_{н1j}$. Реалізуючи відповідний розрахунковий блок, методом послідовних наближень знаходимо кінцевий тиск газу в j-ому газопроводі $P_{к1j}$.

При одночасному закритті перемичок на виході першої КС і вході другої КС, тобто при виконанні умов

$$ik2(1, j) = 0 \text{ та } ik1(2, j) = 0 \quad (20)$$

коригування тиску газу у кінці першого перегону не передбачається.

У всіх інших випадках обчислювальний алгоритм передбачає коригування величини кінцевого тиску.

При відкритій перемичці на виході першої КС і закритій перемичці на вході другої КС

$$ik2(1, j) = 1 \text{ та } ik1(2, j) = 0 \quad (21)$$

як перше наближення тиску газу у кінці першого перегону приймаємо величину кінцевого тиску при автономній роботі відповідної нитки

$$P_{кн1j} = P_{ка1j}. \quad (22)$$

При відкритій перемичці на вході другої КС

$$ik1(2, j) = 1 \quad (23)$$

як перше наближення тиску у кінці першого перегону (однакового для всіх з'єднаних відкритими перемичками ниток) приймаємо середнє значення кінцевих тисків при автономній роботі відповідних газопроводів

$$P_{кн1j} = P_{кн1} = P_{ко1}. \quad (24)$$

При виконанні умови

$$|P_{к1j} - P_{кн1j}| < \varepsilon_p, \quad (25)$$

розрахунок ділянки ij для даної ітерації завершений.

При закритій перемичці на виході першої КС для коригування величини кінцевого тиску змінюємо тиск нагнітання першої КС. Так при виконанні умови

$$P_{к1j} < P_{кн1j} \quad (26)$$

збільшується тиск нагнітання газу КС 1 j за умовою

$$P_{нага1j} = P_{нага1j} + \Delta P, \quad (27)$$

а при виконанні умови

$$P_{к1j} > P_{кн1} \quad (28)$$

зменшується тиск нагнітання газу КС 1 j за умовою

$$P_{нага1j} = P_{нага1j} - \Delta P. \quad (29)$$

При відкритій перемичці на виході першої КС для коригування величини тиску у кінці першого перегону змінюємо витрату газу на відповідному перегоні.

При виконанні умови

$$P_{к1j} < P_{кн1j} \quad (30)$$

зменшується витрата газу на першому перегоні

$$Q_{лін1j} = Q_{лінj} - \Delta Q, \quad (31)$$

а при виконанні умови

$$P_{к1j} > P_{кн1j} \quad (32)$$

збільшується витрата газу на першому перегоні

$$Q_{лін1j} = Q_{лінj} + \Delta Q. \quad (33)$$

Обчислюємо сумарну витрату газу на першому перегоні

$$Q_{сум1}^{лін} = \sum_{j=1}^{ng} Q_{лін1j}. \quad (34)$$

Якщо виконується умова

$$\left| Q_{сум1}^{лін} - Q_{сум1} \right| < \varepsilon_{qs}, \quad (35)$$

то умова матеріального балансу газу виконана і розрахунок першого перегону для даної ітерації завершений. Інакше при виконанні умови

$$Q_{сум1}^{лін} < Q_{сум1} \quad (36)$$

зменшується величина необхідного тиску газу кінці першого перегону

$$P_{кн1} = P_{кн1} - \Delta P, \quad (37)$$

а при виконанні умови

$$Q_{сум1}^{лін} > Q_{сум1} \quad (38)$$

збільшується величина необхідного тиску газу кінці першого перегону

$$P_{кн1} = P_{кн1} + \Delta P. \quad (39)$$

Далі розрахунки першого перегону газопроводу повторюються до виконання умови (35).

Переходимо до розрахунку режиму роботи компресорних станцій, що працюють на другий перегін ($i = 2$). Розрахунок всіх подальших КС ($i = 3 \dots n_{kc}$) проводимо також за наведеним нижче алгоритмом.

Визначаємо тиск газу на вході ij -ої КС $P_{всij}$. Приймаємо, що $T_{всij} = T_{k(i-1)j}$.

Перше наближення витрати газу через нагнітачі ij -ої КС знаходимо за умовою

$$Q_{oij} = Q_{лін(i-1)j} - Q_{кк(i-1)j}. \quad (40)$$

Використовуючи відповідний розрахунковий блок, виконуємо розрахунок режиму роботи j -ої КС при номінальній обертовій частоті нагнітачів $n_{ij} = n_{nij}$, перевіряючи при цьому виконання технологічних обмежень параметрів роботи. При порушенні будь-якої із зазначених умов приймається рішення про зменшення обертової частоти нагнітачів відповідної КС. У результаті знаходимо абсолютний тиск газу на виході нагнітачів $P_{нагij}$.

При закритій перемишці на виході КС, тобто при виконанні умови

$$ik2(i, j) = 0 \quad (41)$$

як перше наближення необхідного тиску на виході КС приймаємо тиск нагнітання, що відповідає автономній роботі відповідної нитки

$$P_{нагнi} = P_{нагоij}. \quad (42)$$

При відкритій перемишці на виході зазначеної КС як перше наближення необхідного тиску на виході приймаємо середнє значення тисків нагнітання при автономній роботі відповідних газопроводів

$$P_{нагнi} = P_{нагоi}. \quad (43)$$

При виконанні умови

$$\left| P_{нагнij} - P_{нагij} \right| < \varepsilon_p, \quad (44)$$

розрахунок КС ij для даної ітерації завершений.

Інакше при виконанні такої умови

$$P_{нагij} < P_{нагнi} \quad (45)$$

зменшується витрата газу через нагнітачі i -ої КС j -ого газопроводу за умовою

$$Q_{ij} = Q_{ij} - \Delta Q, \quad (46)$$

а при виконанні умови

$$P_{нагij} > P_{нагнi} \quad (47)$$

збільшується витрата газу через нагнітачі відповідної КС за умовою

$$Q_{ij} = Q_{ij} + \Delta Q. \quad (48)$$

У результаті знаходимо витрати газу через нагнітачі кожної із КС, що працюють на i -ий перший перегін, при яких тиск газу на нагнітання при відкритих перемишках однаковий і рівний прийнятому значенню тиску $P_{нагнi}$. Обчислюємо витрати газу на власні потреби компресорних станцій, розміщених на початку другого перегону $Q_{ккij}$.

При закритій перемишці на вході j -ої КС, що працює на i -ий перегін, тобто при виконанні умови

$$ik1(i, j) = 0 \quad (49)$$

необхідно передбачити ітерації по тиску газу для виконання умови балансу газу

$$Q_{yij} = Q_{лін(i-1)j} - Q_{ккij}. \quad (50)$$

Керуючий тиск при цьому буде залежати від співвідношення відкритих і закритих перемишчок на вході і виході КС.

При виконанні умови

$$\left| Q_{ij} - Q_{yij} \right| < \varepsilon_q \quad (51)$$

умова балансу газу виконана і ітерації по витраті через КС завершені.

При закритих перемишках на вході і виході КС ij

$$ik1(i, j) = 0, \quad ik2(i, j) = 0 \quad (52)$$

передбачаються такі ітерації. При виконанні умови

$$Q_{ij} < Q_{yij} \quad (53)$$

зменшується тиск нагнітання КС, режим якої розраховується

$$P_{нага_{ij}} = P_{нага_{ij}} - \Delta P, \quad (54)$$

а при виконанні умови

$$Q_{ij} > Q_{y_{ij}} \quad (55)$$

збільшується тиск нагнітання КС, режим якої розраховується

$$P_{нага_{ij}} = P_{нага_{ij}} + \Delta P. \quad (56)$$

При закритій перемичці на вході і відкритій перемичці на виході КС ij

$$ik1(i, j) = 0, \quad ik2(i, j) = 1 \quad (57)$$

необхідно знайти найближчу закриту перемичку на вході або виході КС hj , що знаходиться перед КС ij , режим якої розраховується.

Якщо найближчою закритою є перемичка на виході КС hj

$$ik2(h, j) = 0, \quad (58)$$

то при виконанні умови (53) збільшується тиск у кінці hj -ої ділянки газопроводу

$$P_{ка_{hj}} = P_{ка_{hj}} + \Delta P, \quad (59)$$

а при виконанні умови (55) зменшується тиск у кінці hj -ої ділянки газопроводу за умовою

$$P_{ка_{hj}} = P_{ка_{hj}} - \Delta P. \quad (60)$$

Якщо найближчою закритою є перемичка на вході КС hj

$$ik1(h, j) = 0, \quad (61)$$

то при виконанні умови (55) збільшується тиск нагнітання hj -ої КС

$$P_{нага_{hj}} = P_{нага_{hj}} + \Delta P, \quad (62)$$

а при виконанні умови (53) зменшується тиск нагнітання hj -ої КС за умовою

$$P_{нага_{hj}} = P_{нага_{hj}} - \Delta P. \quad (63)$$

Знаходимо суму витрат газу через нагнітачі компресорних станцій, які розміщені на початку i -ого перегону

$$Q_{сум_i} = \sum_{j=1}^{n_g} Q_{ij}. \quad (64)$$

Обчислюємо суму витрат газу на власні потреби компресорних станцій, які розміщені на початку i -ого перегону

$$Q_{сум_i}^{кc} = \sum_{j=1}^{n_g} Q_{кc_{ij}}. \quad (65)$$

Знаходимо необхідне значення сумарної витрати газу через нагнітачі КС, які розміщені на початку i -ого перегону

$$Q_{бал_i} = Q_{сум_i} - \sum_{v=2}^i Q_{сум_v}^{кc}. \quad (66)$$

Якщо виконується умова

$$|Q_{сум_i} - Q_{бал_i}| < \varepsilon_{qs}, \quad (67)$$

то розрахунок режиму роботи компресорних станцій, які працюють на i -ий перегін, для даної ітерації закінчений.

Інакше, при виконанні

$$Q_{сум_i} < Q_{бал_i} \quad (68)$$

зменшується необхідний тиск газу на виході i -ої КС за умовою

$$P_{наг_{i}} = P_{наг_{i}} - \Delta P, \quad (69)$$

а при виконанні умови

$$Q_{сум_i} > Q_{бал_i} \quad (70)$$

збільшується необхідний тиск газу на виході i -ої КС за умовою

$$P_{наг_{i}} = P_{наг_{i}} + \Delta P. \quad (71)$$

Якщо всі перемички на виході i -ої КС закриті, то розрахунки за формулами (64)-(71) не виконуються. Умова матеріального балансу газу буде перевірена для наступних КС, на виході яких є відкриті перемички.

Переходимо до теплогідравлічного розрахунку другого перегону газопроводу довжиною L_{2j} ($i = 2$). За цим же алгоритмом виконується розрахунок всіх подальших перегонів, окрім останнього.

Спочатку приймаємо, що витрата газу на ділянці дорівнює витраті газу через нагнітачі попередньої КС

$$Q_{ліній} = Q_{ij}. \quad (72)$$

Знаходимо температуру газу на початку ділянки T_{nij} . Реалізуючи розрахунковий блок, методом послідовних наближень знаходимо кінцевий тиск газу в j -ому газопроводі P_{kij} .

При одночасному закритті перемичок на виході КС ij та вході КС $(i+1)j$, тобто при виконанні умов

$$ik2(i, j) = 0 \quad \text{та} \quad ik1(i+1, j) = 0 \quad (73)$$

коригування тиску газу у кінці i -ого перегону не передбачається.

У всіх інших випадках обчислювальний алгоритм передбачає коригування величини кінцевого тиску за таким алгоритмом.

При відкритій перемичці на виході i -ої КС і закритій перемичці на вході $(i+1)$ -ої КС

$$ik2(i, j) = 1 \quad \text{та} \quad ik1(i+1, j) = 0 \quad (74)$$

як перше наближення тиску газу у кінці i -ого перегону приймаємо величину кінцевого тиску при автономній роботі відповідної нитки

$$P_{кн_{ij}} = P_{ка_{ij}}. \quad (75)$$

При відкритій перемичці на вході $(i+1)j$ -ої КС

$$ik1(i+1, j) = 1 \quad (76)$$

як перше наближення тиску у кінці першого перегону (однакового для всіх з'єднаних відкритими перемичками ниток) приймаємо середнє значення кінцевих тисків при автономній роботі відповідних газопроводів

$$P_{кнij} = P_{кнi} = P_{коi}. \quad (77)$$

При виконанні умови

$$\left| P_{кij} - P_{кнij} \right| < \varepsilon_p, \quad (78)$$

розрахунок ділянки ij для даної ітерації завершений.

При одночасному виконанні таких умов

$$ik2(i, j) = 0, \quad ik1(i+1, j) = 1 \quad (79)$$

для коригування величини кінцевого тиску змінюємо тиск нагнітання i -ої КС.

При виконанні умови

$$P_{кij} < P_{кнij} \quad (80)$$

збільшується тиск нагнітання газу КС ij за умовою

$$P_{нагаij} = P_{нагаij} + \Delta P, \quad (81)$$

а при виконанні умови

$$P_{кij} > P_{кнi} \quad (82)$$

зменшується тиск нагнітання газу КС ij за умовою

$$P_{нагаij} = P_{нагаij} - \Delta P. \quad (83)$$

При одночасному виконанні таких умов

$$ik1(i, j) = 0, \quad ik2(i, j) = 0, \quad ik1(i+1, j) = 1 \quad (84)$$

для коригування величини кінцевого тиску необхідно відшукати найближчу відкриту перемичку на виході або вході КС, що працює на j -ту нитку.

Якщо найближчою відкритою перемичкою є перемичка на виході КС на початку h -ого перегону

$$ik2(h, j) = 1, \quad (85)$$

то при виконанні умови (80) збільшується величина кінцевого тиску газу на h -ому перегоні

$$P_{каhj} = P_{каhj} + \Delta P, \quad (86)$$

а при виконанні умови (82) зменшується величина кінцевого тиску газу на h -ому перегоні

$$P_{каhj} = P_{каhj} - \Delta P. \quad (87)$$

Якщо найближчою відкритою перемичкою є перемичка на вході КС у кінці h -ого перегону

$$ik1(h, j) = 1, \quad (88)$$

то коригуванню підлягає величина тиску нагнітання для КС hj відповідно до формул (80)-(83) при $i = h$.

Якщо виконуються умови

$$ik2(i, j) = 1, \quad ik1(i+1, j) = 1, \quad (89)$$

для коригування величини тиску у кінці i -ого перегону змінюємо витрату газу на відповідному перегоні. При виконанні умови (80) зменшується витрата газу на i -ому перегоні

$$Q_{лінij} = Q_{лінij} - \Delta Q, \quad (90)$$

а при виконанні умови (82) збільшується витрата газу на i -ому перегоні

$$Q_{лінij} = Q_{лінij} + \Delta Q. \quad (91)$$

Для третього і подальших компресорних станцій і перегонів ($i = 3 \dots n_{кc}$) розрахунки ви-

конуються аналогічно за наведеним вище алгоритмом. За цим же алгоритмом проводимо розрахунок останнього перегону за умови відкритої перемички на виході $n_{кc}j$ КС. При цьому враховуємо, що необхідне значення кінцевого тиску газу дорівнює

$$P_{кнn_{кc}j} = P_{всн(n_{кc}+1)j} + \delta P_{ex}. \quad (92)$$

Обчислюємо сумарну витрату газу на i -ому перегоні, окрім останнього

$$Q_{сумi}^{лін} = \sum_{j=1}^{ng} Q_{лінij}. \quad (93)$$

Якщо виконується умова

$$\left| Q_{сумi}^{лін} - Q_{балi} \right| < \varepsilon_{qs}, \quad (94)$$

то умова матеріального балансу газу виконана, і розрахунок i -го перегону для даної ітерації завершений. Інакше, при виконанні умови

$$Q_{сумi}^{лін} < Q_{балi} \quad (95)$$

зменшується величина необхідного тиску газу у кінці i -ого перегону

$$P_{кнi} = P_{кнi} - \Delta P, \quad (96)$$

а при виконанні умови

$$Q_{сумi}^{лін} > Q_{балi} \quad (97)$$

збільшується величина необхідного тиску газу у кінці i -ого перегону

$$P_{кнi} = P_{кнi} + \Delta P. \quad (98)$$

Далі розрахунки i -ого перегону газопроводу повторюються до виконання умови (94).

При закритій перемичці на виході останньої КС, тобто при виконанні умови

$$ik2(n_{кc}, j) = 0, \quad (99)$$

для коригування величини кінцевого тиску газу передбачається спеціальний розрахунковий блок, який наведений нижче.

Порівнюємо одержане значення тиску газу на вході у КС $(n_{кc}+1)j$ із відповідним заданим значенням тиску газу. Якщо виконується умова

$$\left| P_{вс(n_{кc}+1)j} - P_{всн(n_{кc}+1)j} \right| < \varepsilon_p, \quad (100)$$

то розрахунок кільканиткової газопровідної системи завершений.

Якщо відкрита перемичка на вході КС $n_{кc}, j$

$$ik1(n_{кc}, j) = 1, \quad (101)$$

то передбачаємо такі ітерації.

При виконанні умови

$$P_{вс(n_{кc}+1)j} > P_{всн(n_{кc}+1)j} \quad (102)$$

зменшується величина необхідного тиску на нагнітання останньої КС

$$P_{нагаn_{кc}j} = P_{нагаn_{кc}j} - \Delta P, \quad (103)$$

а при виконанні умови

$$P_{вс(n_{кc}+1)j} < P_{всн(n_{кc}+1)j} \quad (104)$$

збільшується величина тиску на нагнітання останньої КС

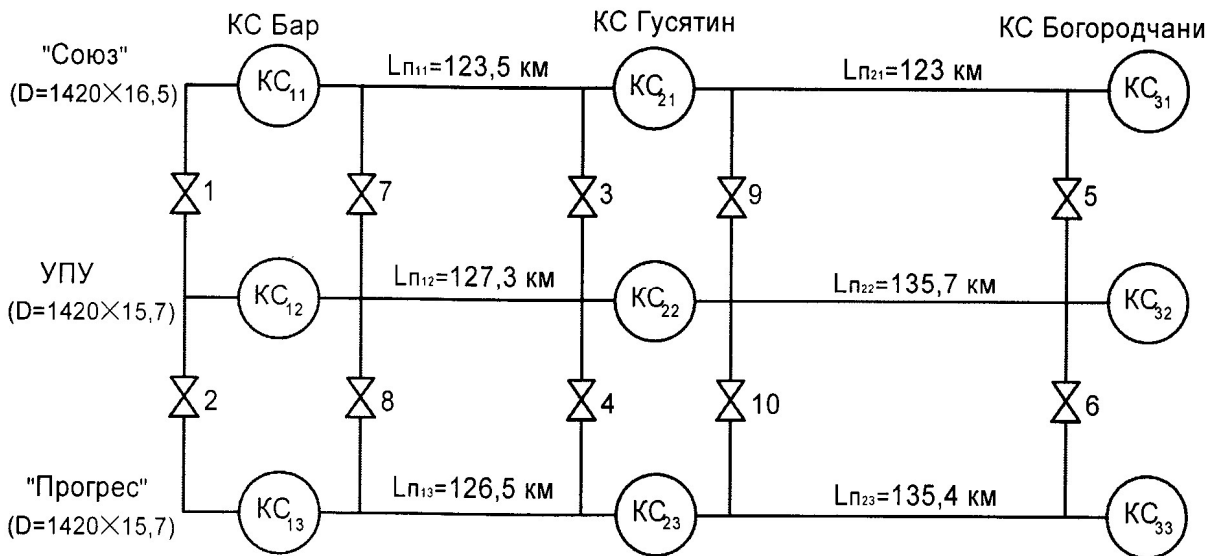


Рисунок 1 – Розрахункова схема триниткової газотранспортної системи на ділянці КС Бар-КС Богородчани з перемичками на вході і виході компресорних станцій

$$P_{нага_{n_{kc}j}} = P_{нага_{n_{kc}j}} + \Delta P. \quad (105)$$

Якщо перемичка на вході КС n_{kc}, j закрита

$$ik1(n_{kc}, j) = 0, \quad (106)$$

то необхідно знайти найближчу відкриту перемичку на вході чи виході попередніх компресорних станцій.

Якщо найближчою є відкрита перемичка на виході КС hj

$$ik2(h, j) = 1, \quad (107)$$

то при виконанні умови (102) зменшується тиск газу у кінці h -ого перегону

$$P_{ка_{hj}} = P_{ка_{hj}} - \Delta P, \quad (108)$$

а при виконанні умови (104) збільшується тиск газу у кінці h -ого перегону

$$P_{ка_{hj}} = P_{ка_{hj}} + \Delta P. \quad (109)$$

Якщо найближчою є відкрита перемичка на вході КС hj

$$ik1(h, j) = 1, \quad (110)$$

та передбачається коригування тиску нагнітання на виході КС hj відповідно до формул (102)-(105).

Далі розрахунки повторюються, починаючи із розрахунку елемента газопроводу, де розміщена відкрита перемичка. У результаті одержуємо такий розподіл витрат газу по нитках і КС, який забезпечує повне використання ресурсу тиску, створеного компресорними станціями.

Обчислюємо сумарну витрату газу на останньому перегоні

$$Q_{сум_{n_{kc}}}^{лін} = \sum_{j=1}^{n_g} Q_{лін_{n_{kc}j}}. \quad (111)$$

Якщо виконується умова

$$\left| Q_{сум_{n_{kc}}}^{лін} - Q_{бал_{n_{kc}}} \right| < \varepsilon_{qs}, \quad (112)$$

то умова матеріального балансу газу виконана, і розрахунок газопроводу завершений. Інакше, при виконанні умови

$$Q_{сум_{n_{kc}}}^{лін} > Q_{бал_{n_{kc}}} \quad (113)$$

зменшується величина необхідного тиску газу на виході першої відкритої (від початку трубопроводу) перемички на виході КС

$$P_{наг_{n_h}} = P_{наг_{n_h}} - \Delta P, \quad (114)$$

а при виконанні умови

$$Q_{сум_{n_{kc}}}^{лін} < Q_{бал_{n_{kc}}} \quad (115)$$

збільшується величина необхідного тиску газу на виході першої відкритої (від початку трубопроводу) перемички на виході КС

$$P_{наг_{n_h}} = P_{наг_{n_h}} + \Delta P. \quad (116)$$

Далі розрахунки повторюються за наведеним вище алгоритмом, починаючи із розрахунку режиму роботи першої КС, яка працює на першу нитку газопроводу. Після виконання умови (112) процес обчислення завершений. Знайдена пропускна здатність кільканинкового газопроводу при роботі з будь-якою комбінацією відкритих перемичок на вході і виході компресорних станцій, розрахований розподіл потоків газу по КС і по нитках газопроводу, визначені режимні та енергетичні параметри роботи кожної із компресорних станцій.

З метою апробації розроблених методик, обчислювальних алгоритмів та програмного забезпечення нами виконані багатоваріантні розрахунки пропускної здатності, режимних та енергетичних параметрів роботи трьох паралельних транзитних газопроводів "Союз", Уренгой-Помари-Ужгород та "Прогрес" на ділянці КС Бар – КС Богородчани. Розрахункова схема триниткової газотранспортної системи, яка була об'єктом досліджень, наведена на рисунку 1.

Розрахункові значення температури повітря і відповідні значення температури ґрунту,

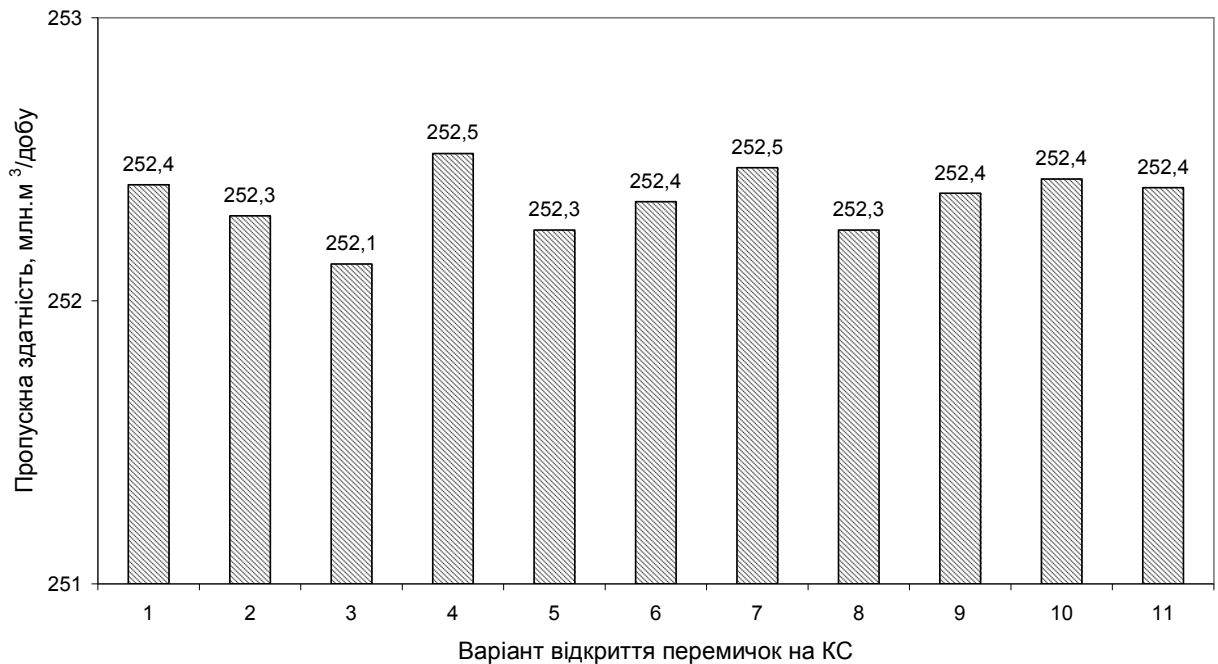


Рисунок 2 — Залежність пропускної здатності триниткового газопроводу на ділянці Бар-Богородчани від варіанта відкриття перемичок на вході і виході КС (повне завантаження системи)

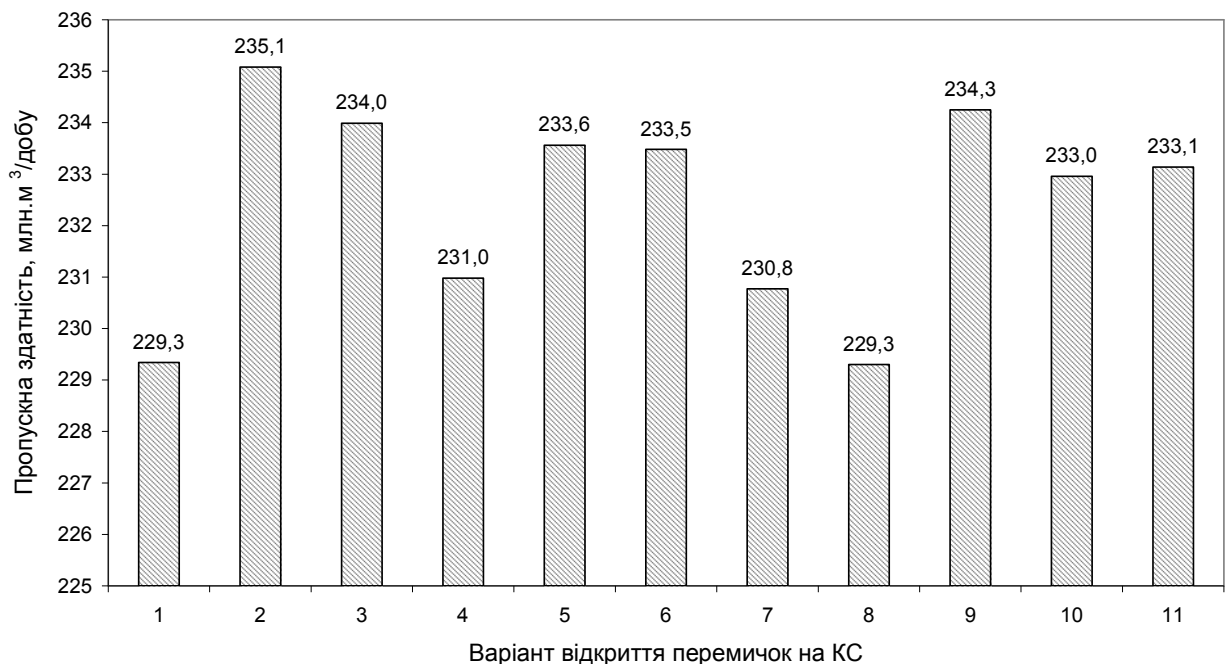


Рисунок 3 — Залежність пропускної здатності триниткового газопроводу на ділянці Бар-Богородчани від варіанта відкриття перемичок на вході і виході КС (неповне завантаження однієї з ниток)

які використовувалися при розрахунках, наведені в [1].

Для виявлення впливу різних комбінацій відкритих перемичок на вході і виході КС на пропускну здатність триниткового газопроводу на ділянці КС Бар – КС Богородчани виконані гідродинамічні розрахунки для різних варіантів завантаження ниток та одинадцяти варіантів

різних комбінацій відкритих перемичок на вході і виході компресорних станцій (таблиця 1).

За результатами багатоваріантних розрахунків побудовані діаграми сумарної пропускної здатності триниткової газотранспортної системи КС Бар – КС Богородчани залежно від варіанта комбінації відкритих перемичок на вході і виході компресорних станцій (рис. 2 і 3).

Таблиця 1 — Перелік варіантів комбінацій відкритих перемичок на вході і виході компресорних станцій триниткової ділянки КС Бар – КС Богородчани

№ варіанта	Ділянка газопроводів	Номер і статус перемички									
		вхід КС Бар		вихід КС Бар		вхід КС Гусятин		вихід КС Гусятин		вхід КС Богородчани	
		№		№		№		№		№	
1	Бар-Гусятин	1	закрита	7	закрита	3	закрита	9	закрита	5	закрита
	Гусятин-Богородчани	2	закрита	8	закрита	4	закрита	10	закрита	6	закрита
2	Бар-Гусятин	1	відкрита	7	відкрита	3	відкрита	9	відкрита	5	відкрита
	Гусятин-Богородчани	2	відкрита	8	відкрита	4	відкрита	10	відкрита	6	відкрита
3	Бар-Гусятин	1	відкрита	7	відкрита	3	відкрита	9	закрита	5	відкрита
	Гусятин-Богородчани	2	відкрита	8	відкрита	4	відкрита	10	закрита	6	відкрита
4	Бар-Гусятин	1	відкрита	7	відкрита	3	закрита	9	відкрита	5	відкрита
	Гусятин-Богородчани	2	відкрита	8	відкрита	4	закрита	10	відкрита	6	відкрита
5	Бар-Гусятин	1	відкрита	7	відкрита	3	закрита	9	відкрита	5	відкрита
	Гусятин-Богородчани	2	відкрита	8	відкрита	4	закрита	10	відкрита	6	відкрита
6	Бар-Гусятин	1	відкрита	7	відкрита	3	закрита	9	закрита	5	відкрита
	Гусятин-Богородчани	2	відкрита	8	відкрита	4	закрита	10	закрита	6	відкрита
7	Бар-Гусятин	1	відкрита	7	закрита	3	закрита	9	відкрита	5	відкрита
	Гусятин-Богородчани	2	відкрита	8	закрита	4	закрита	10	відкрита	6	відкрита
8	Бар-Гусятин	1	відкрита	7	відкрита	3	відкрита	9	відкрита	5	відкрита
	Гусятин-Богородчани	2	відкрита	8	закрита	4	закрита	10	закрита	6	відкрита
9	Бар-Гусятин	1	відкрита	7	закрита	3	закрита	9	закрита	5	відкрита
	Гусятин-Богородчани	2	відкрита	8	відкрита	4	відкрита	10	відкрита	6	відкрита
10	Бар-Гусятин	1	відкрита	7	закрита	3	відкрита	9	відкрита	5	відкрита
	Гусятин-Богородчани	2	відкрита	8	відкрита	4	закрита	10	закрита	6	відкрита
11	Бар-Гусятин	1	відкрита	7	закрита	3	відкрита	9	закрита	5	відкрита
	Гусятин-Богородчани	2	відкрита	8	відкрита	4	закрита	10	відкрита	6	відкрита

Аналіз результатів багатоваріантних розрахунків засвідчив, що при повному завантаженні кожної із ниток газопроводу на ділянці КС Бар – КС Богородчани відкриття перемичок між нитками на ділянках призводить до невеликого зменшення сумарної пропускної здатності системи (до 1 млн.м³/д).

За умови неповного завантаження однієї з ниток робота з відкритими перемичками на вході і виході компресорних станцій може призвести до помітного збільшення сумарної пропускної здатності системи. Аналіз одержаних результатів свідчить, що для кожного варіанта завантаження ниток газопроводів можна виявити розрахунковим шляхом такі комбінації відкритих перемичок на вході і виході компресорних станцій, які відповідають максимальній пропускній здатності триниткової газопровідної системи. Максимальне зростання пропускної здатності системи при цьому досягає 9 млн. м³/д.

Література

1 Середюк М.Д., Лісафін Д.В. Визначення пропускної здатності складних газотранспортних систем // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2004. – № 3(9). – С.69-78.