

УДК 621.165

В.А. Маляренко, М.Б. Ільченко

*Харківський національний університет міського господарства ім.О.М. Бекетова, Україна***«РЕЖИМНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ПАРАМЕТРИ ДЛЯ ОЦІНКИ ВІРОГІДНОСТІ РОЗРАХУНКУ БАЛАНСУ ГАЗУ В ГАЗОТРАНСПОРТНІЙ СИСТЕМІ»**

Розглянуті питання вибору і ранжирування режимно-технологічних параметрів, що впливають на похибку розрахунку балансу газу в газотранспортній системі. Для цього зібрані і систематизовані добові і щомісячні значення обсягів надходження газу в газотранспортну систему, спожитий газ, обсяг транспортованого газу, витрати газу на виробничо-технологічні потреби, витрати газу залежно від часу, зміна запасу газу в трубопроводі. Для кожного з цих факторів розраховані значення балансу і розбалансу газу. Методами математичної статистики досліджені залежності розбалансу газу для кожного з цих параметрів, що дало можливість установити їх перелік і значимість.

Ключові слова: газотранспортна система, баланс газу, режимно-технологічні параметри, методи математичної статистики.

Постановка проблеми

Сучасне зростання вартості природного газу визначає зростаючі вимоги до точності обліку обсягів газу при його транспортуванні магістральними газопроводами і розподілі споживачам. Відповідно до "Методики визначення виробничо-технологічних витрат природного газу на його видобування, транспортування магістральними газопроводами та експлуатування підземних сховищ газу" [1] баланс включає суму врахованих обсягів усіх джерел надходження газу, суму врахованих обсягів розподілу газу споживачам і суму витрат газу під час експлуатації газотранспортною системою (ГТС), тобто:

а) надходження газу в газопровід з сусідніх мереж ГТС, родовищ, підземних сховищ;

б) транзитний газ; витрати газу на власні потреби; споживання газу споживачами; закачування в сховища; враховані технічні і технологічні витрати; витоки газу; інші експлуатаційні витрати.

Об'єм розбалансу характеризує загальний сучасний стан і міру досконалості прийнятих методів обліку газу витратомірними приладами, діючої методичної розрахункової бази з визначення об'ємів газу на виробничо-технологічні потреби і ретельності дотримання її вимог, міра відповідності затверджених об'ємів витрат газу, використовуваних в розрахунках балансу газу, дійсним фактичним їх значенням. До складу розбалансу входять витоки газу, експлуатаційні витрати, неточності заміни дійсних витрат нормативними показниками, у тому числі похибки виміру витрати газу, які виникають через неточність датчиків.

ГТС характеризується величезною кількістю і різноманітністю об'єктів, складністю формалізації протікаючих процесів. Інформація про складові балансу характеризується неповнотою, неточністю заміни реальних витрат нормативними показниками і похибками вимірів надходжень і витрат газу.

Тому для дослідження природи і джерел розбалансу було поставлено завдання розробки методу побудови залежності похибки зведення балансу газу від режимно-технологічних параметрів ГТС.

У першому випадку, коли відомий фактичний об'єм похибки, розрахункові значення застосовуються для порівняльного аналізу. Величину відмінності між фактичним і розрахунковими значеннями похибки балансу можна розглядати як міру достовірності визначення величини похибки. Розбіжність величин похибок може свідчити про помилку в даних, впливі неврахованих обставин, ситуацій, тощо. У такому разі необхідно провести додатковий аналіз. Виявлення таких випадків є одним із завдань застосування методу.

У другому випадку, для прогнозування виконується розрахунок очікуваної похибки балансу, що дозволяє врахувати очікуваний розбаланс при створенні планів.

Другою найважливішою метою, що наслідок з першої, є оцінка відповідності витікань газу і помилки обліку витрат газу в структурі розбалансу. Вирішення цього завдання дозволяє оцінити об'єм дійсних витікань газу, у відмінності від помилок обліку, які не є втратами. Отримані результати дозволяють більш точно розподілити кошти на

модернізацію між цими двома напрямками, оцінити і проконтролювати економічний ефект.

Однак, у даний час точність визначення витрат газу значно підвищилась. Це пов'язано з тим, що постійно проводиться удосконалення вимірювальної техніки: датчиків, обчислювачів, каналів зв'язку. Витрати газу на технологічне обслуговування обладнання газорозподільних станцій (ГРС) і лінійної частини (ЛЧ) магістральних трубопроводів визначають відповідно до затвердженого регламенту, а не за фактичними витратами, як часто бувало раніше. Тому метою роботи є дослідження: чи зміниться значимість режимно-технологічних параметрів в рівнянні балансу газу в нових умовах. І якщо так, то: виконати первинну обробку даних з відсіюванням недостовірних; встановити факт залежності величини розбалансу від факторів, що впливають на транспортування газу; визначити перелік цих факторів. Отримати значення коефіцієнтів кореляції, які відображують міру лінійної залежності розбалансу газу від режимно-технологічних факторів. За значеннями коефіцієнтів кореляції виконати їх ранжирування та визначити значущі, визначальні, незначущі фактори.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Серед напрямків з енергозбереження та підвищення економічності функціонування газотранспортної системи (ГТС) України одним з основних є напрямок зменшення нетехнологічних витрат газу та підвищення точності обліку газу під час транспортування. Предметом представленого дослідження є похибка розрахунку балансу газу (розбаланс) в ГТС ПАТ «УКРТРАНСГАЗ», що включає нетехнологічні витрати газу. Метою – розроблення методів визначення обґрунтованих можливих значень розбалансу газу в реальних умовах недостатності та невизначеності даних. Актуальність поставленої задачі зумовлюється тим, що розроблений метод визначення обґрунтованих можливих значень розбалансу газу забезпечує підвищення точності нормування витрат газу та надає додаткову інформацію для планування заходів з енергозбереження.

Визначення розбалансу газу

Похибка розрахунку балансу газу в ГТС управління магістральних газопроводів (УМГ) ПАТ «УКРТРАНСГАЗ» згідно з [1], як наведено вище, визначається, як різниця між сумою надходження газу в газопровід з усіх джерел і сумою врахованих обсягів розподілу газу. Розбаланс газу [2] зумовлений:

- похибкою приладів вимірювання витрат газу;
- зміщенням у часі при збиранні, накопиченні й обліку даних про виміряні витрати газу;

- невідповідністю заміни фактичних витрат газу на виробничо-технологічні потреби (ВТП) при відсутності прямих вимірювань нормативними значеннями;

- ушкодженнями і аваріями на газопроводах, під час яких часто неможливий облік витрат газу.

Отже, розбаланс газу є результатом неточності обліку обсягів витрат газу та невраховані витрати. Величина складових розбалансу газу за визначенням невідома. Адаже складові, які стають відомі, починають враховуватись при складанні розрахунку балансу газу. При цьому або підвищується точність обліку витрат газу, або відбувається врахування раніше неврахованих витрат.

Складність дослідження розбалансу газу також визначається тим, що загальна кількість елементарних складових розбалансу визначається кількістю об'єктів ГТС. У залежності від рівня деталізації для ГТС УМГ їх кількість може досягти декількох тисяч або десятків тисяч [3]. Тому точний облік похибок визначення витрат газу в них на момент складання балансу газу неможливий, що, в свою чергу, унеможливує розрахунок похибки балансу через композицію елементарних складових. Або, іншими словами, неможливо побудувати аналітичні залежності визначення обсягу розбалансу, як математичні формули залежності розбалансу від кількості складових.

Таким чином, для дослідження обсягу розбалансу, необхідно застосувати математичні методи, що придатні для роботи з неповними та неточними даними. [4].

Виклад основного матеріалу

Структура та первісна обробка вхідних даних.

Для виконання роботи були використані доступні добові дані по УМГ ПАТ «УКРТРАНСГАЗ» за останні три роки про такі режимно-технологічні параметри ГТС:

- обсяги розбалансу;
- надходження газу газопровід;
- споживання газу зміна запасу газу в трубі;
- температура зовнішнього повітря;
- кількість пусків і зупинок ГПА;
- узагальнений показник вхідного тиску по КС;
- виробничо-технологічні витрати газу.

Для визначення ступеню впливу цих факторів на величину похибки балансу газу необхідно визначити основні статистичні показники (оцінки математичного очікування та середньоквадратичного відхилення) та відсіювання недостовірних даних.

Оскільки розбаланс є інтегральною величиною, що формується у результаті взаємодії великої кількості різнорідних факторів, то при нестачі

інформації згідно з центральною теоремою теорії випадкову величину з гаусовим розподіленням [7]. Був застосований стандартний для такого розподілення критерій виходу за межі трьох середньоквадратичних відхилень:

$$m \pm 3\sigma, \quad (1)$$

де m – середнє значення, як оцінка математичного очікування,

σ – оцінка середньоквадратичного відхилення.

Аналіз повноти, якості та придатності наявних даних для розроблення моделі балансу газу в ГТС УМГ.

Побудовано гістограми розподілу величини розбалансу, які мають вигляд, характерний для стохастичних величин з гауссовим розподіленням. Якщо розглядати добовий обсяг розбалансу (нетехнологічних витрат) як випадкову величину з гауссовим розподіленням, за формою гістограми, за співвідношенням середнього значення (оцінки математичного очікування) та середньоквадратичного відхилення можна зробити висновок про велике розсіяння значень обсягу нетехнологічних витрат. Це також підтверджується побудованими графіками залежностей обсягу розбалансу від дати (номера доби з початку фіксації даних), температури зовнішнього повітря, обсягів транспортованого газу. Графіки залежностей обсягу розбалансу від дати (номера доби з початку фіксації даних), обсягів транспортованого газу зображено на рис. 1, 2 відповідно.

Оскільки добові дані, як видно на рис. 1-2., характеризуються великим розсіянням точок, тобто значною мірою невизначеності та впливом неврахованих факторів, був проведений аналогічний аналіз місячних даних на повноту, якість та придатність для рішення задачі розроблення методу оцінювання залежності величини розбалансу газу від режимно-технологічних параметрів ГТС для обчислення граничних об'ємів розбалансу для УМГ на основі статистичних даних.

Графіки рис.3-4. ілюструють характер поведінки показника обсягу розбалансу (залежної величини) від часу та обсягів та перекачаного газу.

Вплив дрібних нерегулярних факторів, похибки при замірі можна розглядати як стохастичний шум, що накладається на детермінований процес. Для усунення впливу цього стохастичного шуму з даними про обсяг розбалансу було виконано процедуру згладжування, при якому i -те значення даних y_i замінюється значенням y'_i , що обчислюється як середнє для "вікна" даних з розмахом n (тобто низки послідовних значень даних довжиною $2n+1$ елементів з i -м елементом у центрі):

ймовірності розбаланс можна інтерпретувати як

$$y'_i = \frac{y_i + \sum_{j=1}^n (y_{i+j} + y_{i-j})}{2n+1}. \quad (2)$$

Результат згладжування даних з двотижневим вікном зображено на графіках суцільними кривими. Їхній вигляд показує, що і після згладжування форму отриманої кривої не можна вважати гладкою. Вплив стохастичного шуму залишається. Це свідчить про те, що величина розбалансу формується як композиція величезної кількості факторів різної природи. Для УМГ число цих факторів можна оцінити в кілька тисяч або десятків тисяч (залежно від рівня деталізації) на основі оцінки кількості елементарних об'єктів, пов'язаних з можливими втратами чи похибками обліку витрат газу. Вплив таких дрібних елементів і породжує спостережений стохастичний шум обсягу розбалансу.

Врахувати у моделі балансу індивідуальний вплив кожного елементарного об'єкту неможливо [5,6]. Тому для побудови моделі балансу у постановці задачі, що вирішується у даній роботі, вибрано інтегральний підхід, при якому досліджується залежність розбалансу від кількох доступних інтегральних показників, які відображають роботу ГТС у цілому.

Обсяг розбалансу, тис. м³

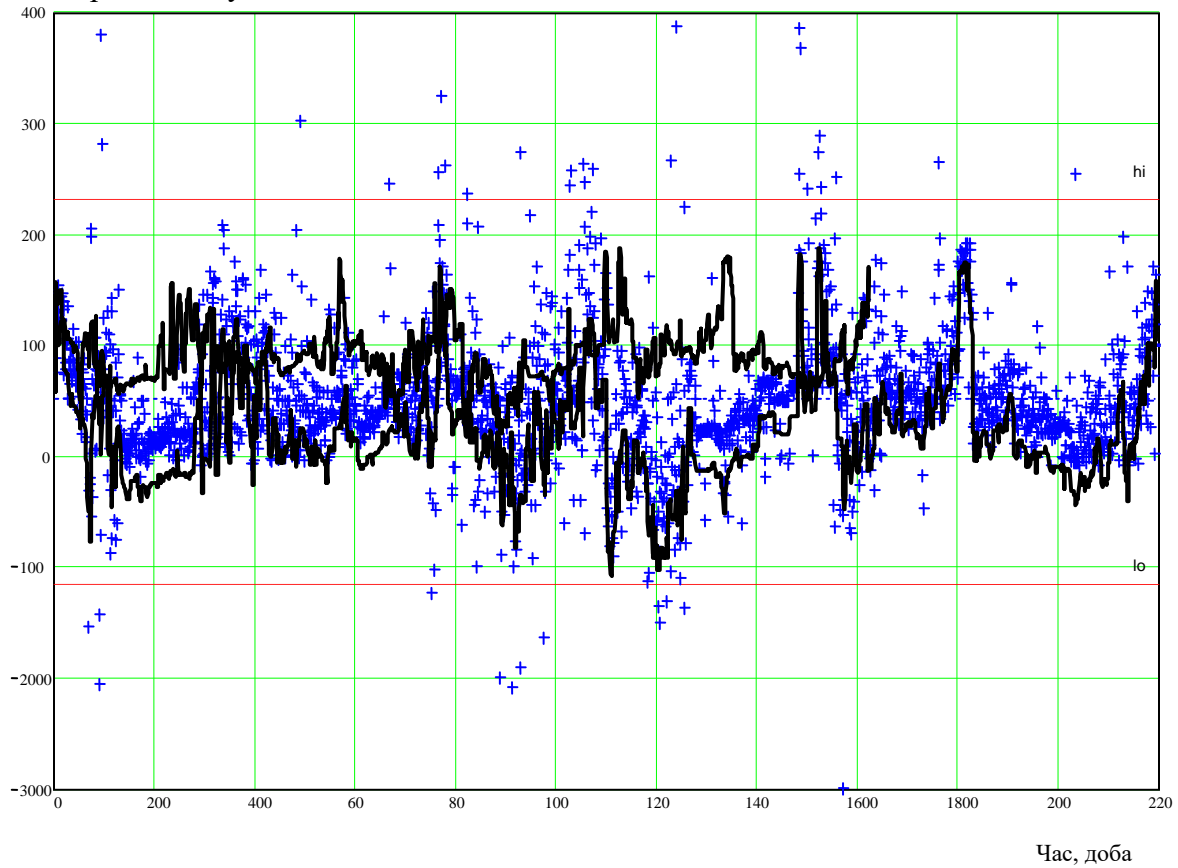


Рис.1. Графік зміни добового обсягу розбалансу в часі

Обсяг розбалансу, тис. м³

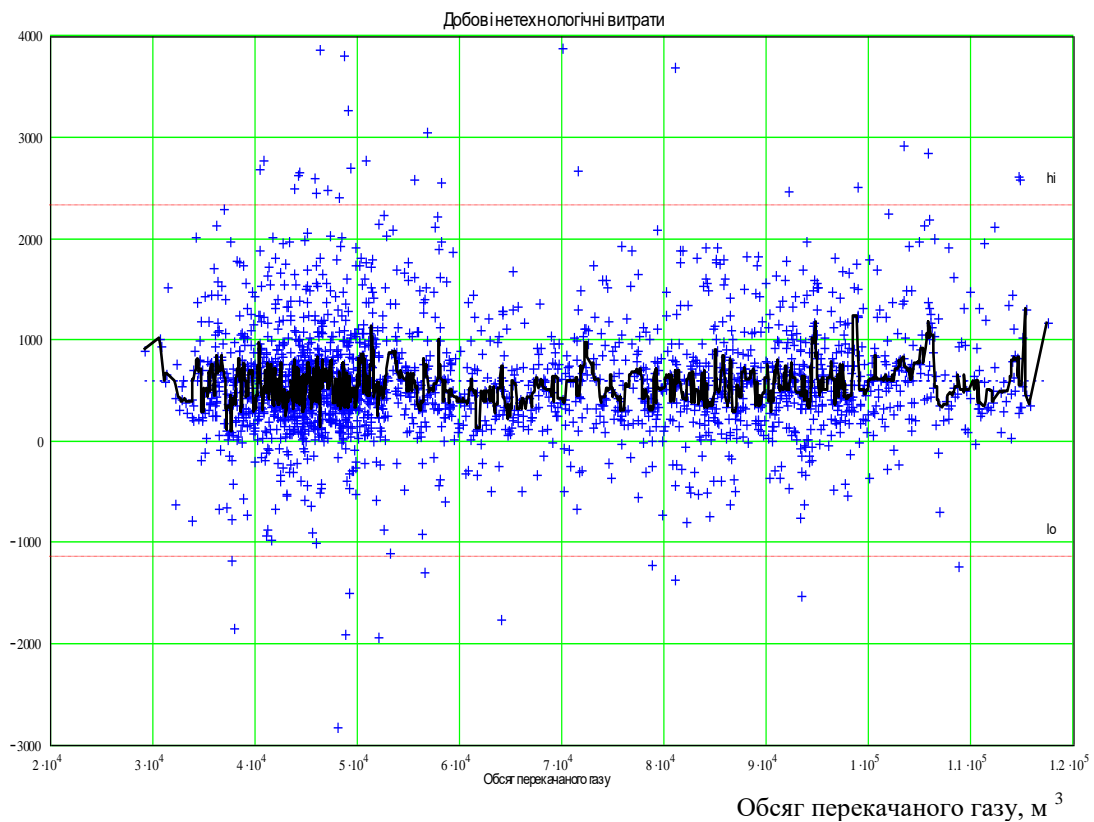
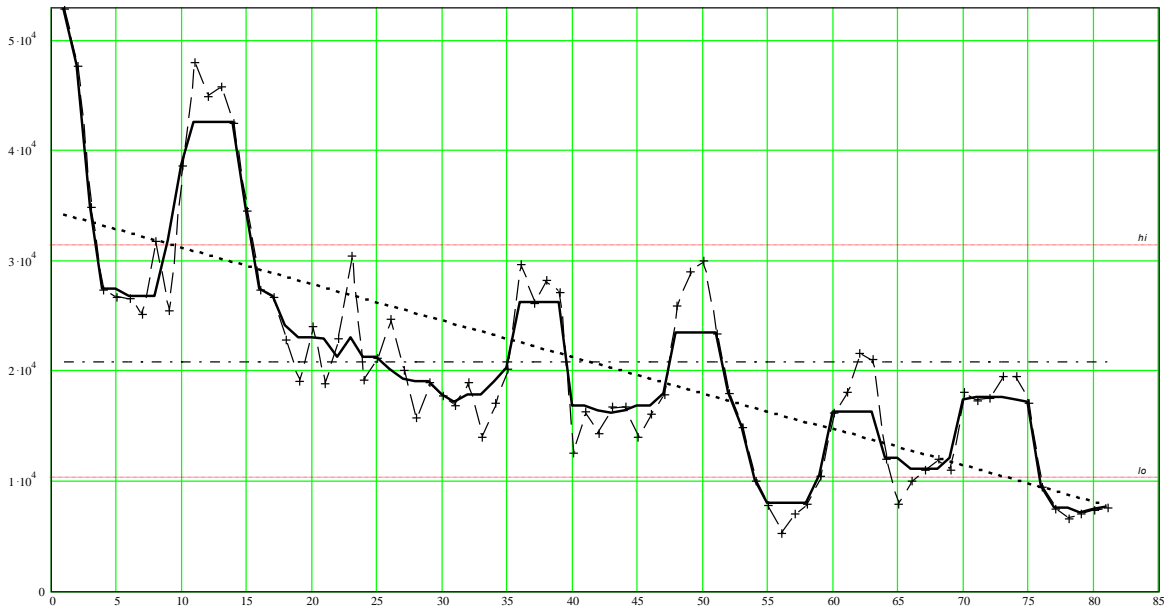


Рис.2. Графік залежності добового обсягу розбалансу від обсягу транспортованого газу

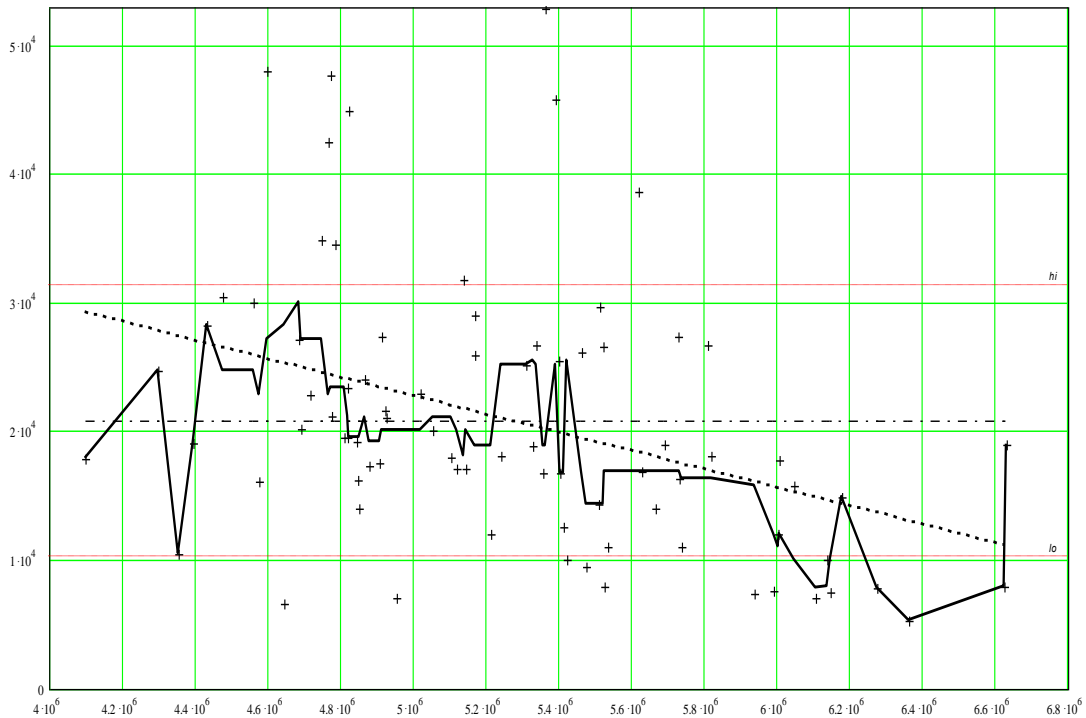
Обсяг розбалансу, тис. м³



Номер місяця

Рис.3 Графік зміни місячного обсягу розбалансу газу в УМГ в часі
 + - фактичний обсяг розбалансу газу за місяць у мережі УМГ, тис.м³; -.-.- середнє значення обсягу розбалансу газу за весь період, тис.м³; - - - лінійна тенденція зміни обсягу розбалансу газу, тис.м³; ---- згладжене середнє значення обсягу розбалансу газу, тис.м³.

Обсяг розбалансу, тис. м³



Обсяг транспортованого газу, тис.м³

Рис.4. Графік залежності обсягу розбалансу газу в УМГ від обсягу транспортованого газу
 + - фактичний обсяг розбалансу газу за місяць у мережі УМГ, тис.м³; -.-.- середнє значення обсягу розбалансу газу за весь період, тис.м³; - - - лінійна тенденція зміни обсягу розбалансу газу, тис.м³; ---- згладжене середнє значення обсягу розбалансу газу, тис.м³.

Крім значень розбалансу та кривої згладження на графіках у вигляді пунктирної прямої представлена лінійна регресія обсягу розбалансу, що характеризує загальну тенденцію зміни обсягу розбалансу.

Иглад кривих показує, що і після згладжування форму отриманої кривої не можна вважати гладкою, але вплив стохастичного шуму є набагато нижчим, чим у випадку добових даних.

Дослідження вхідних даних показало, що:

- однозначні детерміновані залежності обсягу розбалансу від досліджених факторів відсутні;

- дані нерівномірні у діапазоні незалежної змінної;

- є нерегулярні точки (розриву, стрибкоподібної зміни);

- місячні дані є більш підходящими для побудови моделі.

Можна припустити, що параметрами, які характеризують зміну обсягу розбалансу, є такі, котрі свідчать про різку зміну режиму роботи ГТС, що приводить до помилок в обліку і замірах витрат газу та виникненню ланцюгових реакцій, наслідки яких загасають протягом деякого часу (такі як пуск/зупинка ГПА). Також відомо, що існують періоди переналагодження вимірювальних засобів при переході з одного режиму споживання газу на інший (літнього на зимовий і назад), у які помилка виміру може збільшуватися, що приводить до зростання обсягу розбалансу. Врахування наведених факторів може бути виконано шляхом уведення додаткових параметрів:

- критерію, що характеризує період переналагодження вимірювальних засобів;

- критерію, що характеризує сезон роботи (літній/зимовий/ перехідний).

Проведений аналіз показав, що у цілому представлені дані придатні та достатні для розробки моделі балансу газу в ГТС УМГ [7,8]

Для оцінки залежності величини розбалансу газу від режимно-технологічних параметрів були застосовані методи кореляційного аналізу накопичених даних [9,10].

Оброблено дані, що включали місячні показники розбалансу та низку режимно-технологічних параметрів помісячно за три роки. Для кожного режимно-технологічного параметру (фактору) обчислено значення коефіцієнта кореляції (3):

$$r_i = \frac{\sum_{j=1}^n (x_{i_j} - m_{x_i}) \times (q_j - m_q)}{\sqrt{\sum_{j=1}^n (x_{i_j} - m_{x_i})^2 \times \sum_{j=1}^n (q_j - m_q)^2}}, \quad (3)$$

де: r_i – коефіцієнт кореляції,

i – номер фактору,

j_i – номер елемента у векторі даних,

n – кількість даних (довжина вектора),

x_{i_j} – j -е значення i -го фактору,

q_j – j -е значення розбалансу,

m_q – оцінка математичного очікування (середнє значення) розбалансу,

m_{x_i} – оцінка математичного очікування (середнє значення) i -го фактору.

Значення коефіцієнтів кореляції відображають міру лінійної залежності режимно-технологічних параметрів та розбалансу – від 0 (цілком незалежні) до 1 (детермінований функціональний зв'язок). За результатами кореляційного аналізу було виконано ранжирування факторів за величиною коефіцієнта кореляції. Фактори, значення коефіцієнта для яких більше 0,6 були віднесені до визначальних, від 0,4 до 0,6 – до значущих, менше 0,4 – до незначущих.

Одержані наступні результати.

Визначальні фактори: обсяг споживання газу (коефіцієнт кореляції 0,84); обсяг транспортованого газу (коефіцієнт кореляції 0,67). Значущий фактор – обсяг виробничо-технологічних витрат газу (коефіцієнт кореляції 0,45). Всі інші проаналізовані режимно-технологічні параметри – незначущі фактори.

Слід відмітити, що в існуючій дотепер регресійній моделі [2] фактор виробничо-технологічних витрат газу на обладнання ГТС не враховувався зовсім.

Висновки

1. Дослідження вхідних даних показало, що однозначні детерміновані залежності обсягу розбалансу газу від розглянутих факторів відсутні. Дані нерівномірні у діапазоні незалежної змінної, однак придатні для побудування статистичних моделей.

2. Місячні інтервали обсягів газу для розрахунку балансу газу в ГТС мають більшу достовірність, ніж добові, бо вплив стохастичного шуму набагато нижчий, ніж у випадку добових даних.

3. Для оцінки залежності величин розбалансу газу від режимно-технологічних параметрів застосовані методи кореляційного аналізу, що дало можливість установити перелік і значимість цих факторів.

Література

1. Методика визначення обсягів витрат природного газу на виробничо-технологічні потреби під час його транспортування газотранспортною системою та

- експлуатації підземних сховищ газу / ДК Укртрансгаз – Київ. – 2006. – 98 с.
2. Методичні указівки з визначення значень похибки розрахунку балансу газу в ГТС ДК "Укртрансгаз/ ДК Укртрансгаз – Київ. – 2006. – 25с;
3. Гаденьшина, А.Р. Современное состояние и перспективы развития технологий ресурсосбережения ПАО «ГАСПРОМ» [Текст]/ А.Р. Гаденьшина, С.В.Кутаев, А.В. Галикеев// Территория Нефтегаз.- 2016. - №5. – С.88-91.
4. Ряховский, С.В., Паскаль, Л.Г. Основные принципы создания единой системы учета газа в компании поставщика газа [Электронный ресурс]/ Главная библиотека научных статей. Энергосбережение. – Режим доступа:
WW/URL:https://www.abok.ru/for_spec/articles3035
5. Багдасаров, В.А.. Потери газа в газотранспортной системе [Текст]/ В.А. Багдасаров// Л. – Недра.- 2004.- 160с
6. Фиш, С.Б., Ильченко, М.Б. Математическая модель расчета баланса газа в газотранспортной системе/ Материалы XIV международной научно-технической конференции. – ИПМАШ НАН Украины. - Харьков - 2012. – С.62-66
7. Венцель, Е.С. Теория вероятностей [Текст]/ Е.С. Венцель//М. - Государственное издательство физико-математической литературы. - 1962. – 564 с;
8. Афифи, А.. Статистический анализ [Текст]/ А. Афифи, С. Эйзен//М. – Мир. - 1982. – 488 с;
9. Себер, Дж. Линейный регрессионный анализ [Текст]/ Дж. Себер//М. – Мир. - 1980. – 456 с.
10. Феллер, У. Введение в теорию вероятности и ее приложения [Текст]/ У.Феллер//М. – Мир. - 1986. – 512с

References

1. Determining the volume of natural gas for in-process needs to the gas transportation system and operation of underground gas storage facilities. - К. : Ukrtransgaz. – 2006. – 98 p.

2. The methodical pointing is from determination of values of error of calculation of gas balance in the gas transportation system of UTG. - К. : Ukrtransgaz. – 2006. – 25p.
3. Gadenshina, A.R, Chinas, S.V., Galikeev A.V. Current state and the prospects of development of resource-saving technologies of PJSC "Gasprom" // territory of Neftgaz.- 2016. - №5. - p.88-91
4. Ryakhovskiy, S.V., Pascal, LG The basic principles of creating a single gas accounting system in the company's regional gas supplier / Library of scientific articles. Energy saving. - Retrieved from:
WW/URL:https://www.abok.ru/for_spec/articles3035.
5. Bogdosarov, V.A. Gas losses in the urban gas facilities. - Л.: Nedra. - 2004.- 160 p.
6. Fish, S.B., Ilchenko, M.B. The mathematical model of calculation of gas balance in the gas transportation system / Materials of XIV international scientific and technical conference. – IPM Ukrain. – Kharkov – 2012. – p.62-66.
7. Ventsel, E.S. The theory of chances/ E.S. Ventsel //M. - The State publishing house of physical and mathematical literature. - 1962. – 564p.
8. Afifi, A., Eizen, S. The statistical analysis. M. – Mir. - 1982. – 488 p.
9. Seber, D. The Linear regressive analysis. M. – Mir. - 1980. – 456 p.
10. Feller, U. The introduction to the probability and her application theory. M. – Mir. - 1986. – 512p.

Автор: МАЛЯРЕНКО Віталій Андрійович

д-р техн. Наук, проф. Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова

Email: malyarenko@ksame.kharkov.ua

Автор: ІЛЬЧЕНКО Маріанна Борисівна

аспірантка Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова

Email: b.s.ilchenko@mail.ru

РЕЖИМНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ДОСТОВЕРНОСТИ РАССЧЕТА БАЛАНСА ГАЗА В ГАЗОТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЕ

В.А. Маляренко, М.Б. Ильченко

Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А.Н. Бекетова, Украина

Рассмотрены вопросы выбора и ранжирования режимно-технологических параметров, влияющие на погрешность расчета баланса газа в газотранспортной системе. Для этого собраны и систематизированы суточные и ежемесячные значения объемов поступления газа в газотранспортную систему, потребленный газ, объем транспортируемого газа, расход газа на производственно-технологические нужды, расход газа в зависимости от времени, изменение запаса газа в трубопроводе. Для каждого из этих факторов рассчитаны значения баланса и разбаланса газа. Методами математической статистики исследованы зависимости разбаланса газа для каждого из этих параметров, что позволило установить их перечень и значимость.

Ключевые слова: газотранспортная система, баланс газа, режимно-технологические параметры, методы математической статистики.

**REGIME-TECHNOLOGICAL PARAMETERS FOR ESTIMATION OF AUTHENTICITY OF
CALCULATION OF GAS BALANCE OF GAS-TRANSPORTATION SYSTEM**

V. Malyarenko, M. Ilchenko

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

Are identified the problems of choice and ranging of regime-technological parameters influencing on the error of the calculation of gas balance in the gas-transportation system. Collected and systematized the daily and monthly data about the receipt of gas to the gas-transportation system, used gas, volume of the transported gas, gas expenses on productively-technological necessities, charges of gas depending on time, change of gas supply in a pipeline. Were analysed monthly data for three years. For each of these factors are expected the values of balance of gas and error of calculation of the gas balance.

Are used the methods of mathematical statistics for research of dependence the error of calculation of gas balance for each of these parameters. For the estimation of dependence of size the error of the calculation of gas balance from regime-technological parameters the methods of cross-correlation analysis of accumulated data were applied. For every regime-technological parameter the values of coefficients of correlation are expected, that gave an opportunity to set a list and meaningfulness of influence of each of parameters on the size of error of calculation of gas balance in the gas-transportation system

Keywords: *the gas-transportation system, the balance of gas, regime-technological parameters, the methods of mathematical statistics.*