

Маляренко В.А., Ільченко М.Б.

НАБЛИЖЕНИЙ МЕТОД РОЗРАХУНКУ ВИТРАТ ПРИРОДНОГО ГАЗУ НА ВИРОБНИЧО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ПОТРЕБИ ГАЗОТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основними складовими обсягів виробничо-технологічних потреб (ВТП) газу в газотранспортній системі (ГТС) є обсяги витрат паливного газу на привід газоперекачувальних агрегатів (ГПА) і витрати технологічного газу.

Останні зумовлені безпосередньо технологічним процесом транспортування природного газу для здійснення основних та допоміжних технологічних операцій. В їх складі витрати газу на пуски і зупинки ГПА, експлуатацію і технічне обслуговування обладнання компресорних цехів (КЦ), газорозподільчих станцій (ГРС), підземних сховищ: витрати газу на проведення профілактичних вогневих та газонебезпечних робіт; при експлуатації пневматичних регуляторів; систем автоматики і телемеханіки; технічних засобів вимірювання обсягів газу та багато інших технологічних заходів, що забезпечують безпечну і ефективну роботу об'єктів ГТС.

Визначення обсягів витрат паливного газу здійснюється вимірювальними комплексами з використанням витратомірів змінного перепаду тисків, турбінних і роторних лічильників разом із обчислювачами та обчислювачами-коректорами [1–4]. Це устаткування забезпечує високу точність вимірів та оперативність передачі даних до диспетчерських служб для проведення необхідних розрахунків.

Інша справа щодо обліку витрат технологічного газу. Його складові визначають в основному розрахунковим шляхом [5]. У якості вихідних даних використовують записи у робочих диспетчерських журналах та інших чинних документах, де фіксуються усі проведені заходи, що пов'язані з витратами природного газу та його параметри за даними вимірювальних приладів (тиск, температура) та густина).

Слід зазначити, що збір цих даних може мати різну періодичність і складатись наприкінці звітної періоду, як правило, місяця або кварталу.

Постановка проблеми. Експлуатація газотранспортної системи України характеризується постійним зростанням вимог щодо її економічності. Одним з напрямків поліпшення цього показника є зменшення технологічних витрат газу, що обумовлює актуальність задач їх визначення [6].

З точки зору можливості ефективного контролю за ефективним використанням природного газу на власні потреби ГТС таке положення справ має ряд суттєвих недоліків. По перше, це складність розрахунку. Необхідно обробляти тисячі одиниць обладнання для великої кількості технологічних операцій. Навіть при застосуванні спеціальних комп'ютерних програм треба «вручну» вводити багато вихідних даних для розрахунків. По друге, існуюча недостатня точність розрахунків, пов'язана зі збором і накопиченням вихідних даних. По третє, отримання результатів розрахунків через тривалий час після виконання відповідних технологічних заходів, тобто недостатня оперативність. І найбільш важливий недолік існуючого методу визначення обсягів витрат природного газу на власні потреби ГТС – це неможливість порівняння отриманих резуль-

татів з даними, отриманими при подібних режимно-технологічних умовах за інший період часу.

При цьому, на даний час зібраний великий статистичний матеріал щодо параметрів потоку газу, які характеризують режим роботи ГТС у цілому і окремих її структурних підрозділів. А саме:

- обсяг газу, що надійшов до системи;
- обсяг транзитного газу;
- витрати газу на виробничо-технологічні потреби (паливний газ ГПА і технологічні витрати);
- газ, що надійшов до споживачів;
- похибка розрахунку балансу газу;
- запас газу в трубах;
- узагальнений показник вхідного тиску;
- кількість пусків і зупинок ГПА.

У даній роботі ставиться завдання: на підставі обробки статистичних даних визначити перелік режимно-технологічних параметрів, що впливають на обсяги використання газу на технологічні потреби і встановити функціональну залежність між ними. Це дозволить прогнозувати витрати газу на виробничо-технологічні потреби, а також оперативно контролювати поточні величини шляхом їх порівняння зі середньостатистичними значеннями витрат при подібних режимно-технологічних параметрах.

Виклад основного матеріалу. У даній час в базі даних програмного комплексу [7] ведеться автоматизований облік таких режимно-технологічних параметрів ГТС: обсягів надходження і споживання газу, зміни запасу газу в трубопроводі, температури зовнішнього середовища, кількості пусків і зупинок ГПА, узагальненого показника вхідного тиску по КС, обсягів витрат газу на виробничо-технологічні потреби та ін. Ці дані накопичені за період з 2000 року.

Природа технологічних витрат (ТВ) та особливості даних визначили необхідність застосування статистичних методів для їх дослідження [8]. Основою методу дослідження є моделі, тобто залежності, що відображують зв'язок між обсягом ТВ і значеннями експлуатаційних факторів в умовах недостатності та невизначеності даних.

Для установлення залежності обсягу ТВ від режимно-технологічних параметрів та оцінювання міри залежності був застосований метод кореляційного аналізу [9].

Для ГТС у цілому та її підрозділів – управліннь магістральних газопроводів (УМГ) за допомогою формули Пірсона було обчислено значення коефіцієнтів кореляції між режимно-технологічними параметрами і обсягами технологічних витрат газу

$$r_{xy} = \frac{\sum (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (1)$$

де r_{xy} – значення коефіцієнта кореляції Пірсона; i – порядковий номер режимно-технологічного параметру в базі даних; x_i – значення режимно-технологічного параметру; y_i – значення обсягу технологічних витрат газу; \bar{x} – оцінка математичного очіку-

вання (середнє значення) по x ; \bar{y} – оцінка математичного очікування (середнє значення) по y .

Отримане значення коефіцієнта кореляції відображає міру лінійної залежності обсягу технологічних витрат газу від низки режимно-технологічних параметрів транспортування, розподілу і зберігання газу. У загальному випадку абсолютна величина коефіцієнта кореляції може становити від 0 (цілком незалежні фактори) до 1 (детермінований функціональний зв'язок).

За результатами кореляційного аналізу було виконано ранжирування факторів. Фактори, для яких значення коефіцієнта кореляції більше ніж 0,7 були віднесені до визначальних; 0,5÷0,7 до значущих; менше ніж 0,5 до незначущих. Ранжирування факторів за результатами кореляційного аналізу показало, що серед доступних для аналізу факторів основним визначальним є обсяг споживання газу. Другим за значенням є температура навколишнього середовища. Третім і четвертим за значенням є узагальнена кількість пусків та зупинок ГПА.

Також було виконано кореляційний аналіз зв'язку факторів між собою. Дослідження показали, що коефіцієнта кореляції середньої температури зовнішнього повітря й обсягу споживання газу складає від 0,7 до 0,95. Тобто споживання газу практично детерміновано температурою. Таким чином, обсяг споживання не є незалежним і зв'язаний з обсягом технологічних витрат через температуру навколишнього середовища. Отже, обсяг споживання – надлишковий фактор і може бути виключений з переліку супутніх параметрів.

Кореляційний аналіз показав, що наявні режимно-технологічні параметри (фактори) зв'язані з обсягом ТВ і можуть бути використані для побудови моделі, як математичної залежності технологічних витрат від режимно-технологічних факторів.

Метод визначення очікуваного та граничних значень ТВ застосовується для вирішення наступних задач:

- контролю достовірності визначення обсягу технологічних витрат газу;
- прогнозування обсягу технологічних витрат газу.

Вирішення задач контролю достовірності обсягу ТВ, отриманого за [5] вимагає побудови математичних виразів залежності не лише очікуваного обсягу технологічних витрат VTB , але й їх мінімального і максимального граничних припустимих обсягів VTB_{min} і VTB_{max} відповідно. Тобто задачу визначення можливих граничних значень ТВ газу можна сформулювати, як задачу визначення математичного вигляду функцій V , V_1 , V_2 від вектору незалежних режимно-технологічних факторів x :

$$\begin{aligned} VTB &= V(x); \\ VTB_{min} &= V_1(x); \\ VTB_{max} &= V_2(x). \end{aligned} \tag{2}$$

Проаналізовано можливі методи побудови шуканих залежностей. Результатом дослідження було обрання методу множинного регресійного аналізу, що відповідає умовам поставленої задачі. Множинний регресійний аналіз є методом статистичного аналізу, що призначений для визначення аналітичної залежності між однією залежною змінною і кількома незалежними на основі низки відомих значень цих змінних, отриманих з можливою помилкою.

Регресійні залежності дозволяють визначати достовірні очікувані значення величин технологічних витрат і довірчих інтервалів. Результатом аналізу значень коефіцієнтів кореляції є установлення факту залежності обсягу ТВ від вище наведених режимно-технологічних факторів.

Шукана залежність представляється як наперед заданий аналітичний вираз, що має кілька невідомих параметрів-коефіцієнтів:

$$V_{TB} = \alpha + \sum_i \alpha_i x_i, \quad (3)$$

де α , α_i – параметри множинної регресії.

У регресійному аналізі побудова шуканих математичних залежностей полягає у знаходженні найкращих коефіцієнтів регресії за допомогою розробленої процедури [9,10] за критерієм мінімуму суми квадратів різниці між даними та розрахованим значенням залежної змінної:

$$S = \sum_{j=1}^n (V_{TB} - f(\alpha_i, x_i))^2 \rightarrow \min. \quad (4)$$

Множинна регресійна залежність очікуваного обсягу ТВ від режимно-технологічних факторів має такий вигляд:

$$V_{TB} = \alpha + \alpha_1 \cdot V_T + \alpha_2 \cdot t_{нов} + \alpha_3 \cdot N_{пуск} + \alpha_4 \cdot N_{зуп}, \quad (5)$$

де α_{1-i} – параметри множинної регресії; V_T – обсяг транспортованого газу; $t_{нов}$ – температура навколишнього середовища; $N_{пуск}$ – кількість пусків ГПА; $N_{зуп}$ – кількість зупинок ГПА.

Для кожного УМГ розраховано регресійні моделі з визначенням очікуваного та двох граничних значень обсягів ТВ – мінімально і максимально можливих.

Залежності мінімальної і максимальної величини обсягу ТВ визначаються як верхня і нижня границя σ – довірчих інтервалів, тобто, як функція регресії $f \pm \sigma$:

$$\begin{aligned} V_{TB \min} &= f(x) - \sigma, \\ V_{TB \max} &= f(x) + \sigma. \end{aligned}$$

Рівняння залежності мінімального і максимального обсягу ТВ від значущих режимно-технологічних параметрів:

$$\begin{aligned} V_{TB \min} &= \alpha_{\min} + \alpha_1 \cdot V_T + \alpha_2 \cdot t_{нов} + \alpha_3 \cdot N_{пуск} + \alpha_4 \cdot N_{зуп}, \\ V_{TB \max} &= \alpha_{\max} + \alpha_1 \cdot V_T + \alpha_2 \cdot t_{нов} + \alpha_3 \cdot N_{пуск} + \alpha_4 \cdot N_{зуп}, \end{aligned} \quad (6)$$

де $\alpha_{\min} = \alpha - \sigma$ параметр множинної регресії мінімального граничного значення технологічних витрат; $\alpha_{\max} = \alpha + \sigma$ параметр множинної регресії максимального граничного значення технологічних витрат

Значення обсягу ТВ, розрахованих за регресивною моделлю застосовуються для контролю величин технологічних витрат, що отримані під час розрахунків.

Перевірка належності фактичного розрахованого обсягу ТВ до довірчого інтервалу від мінімального до максимального граничних обсягів показує що розрахунок достовірний, якщо виконуються умови:

$$V_{TB} > V_{TB \min},$$

$$V_{TB} < V_{TB \max}.$$

Якщо умови не виконуються і значення обсягу технологічних витрат газу виходять за припустимі межі, то розрахунок ТВ є недостовірним. Уцьому випадку необхідно встановити цього, а саме:

- перевірити розрахункові дані;
- перевірити розрахункові формули;
- проаналізувати наявність додаткових факторів впливу на результати розрахунку.

Прогнозування обсягів технологічних витрат за допомогою розробленого методу дозволяє отримувати не лише очікувані середні значення технологічних витрат, а й достовірні їх граничні значення. Прогнозування обсягів ТВ вимагає попередньої підготовки очікуваних значень режимно-технологічних факторів на період прогнозування. Такими можуть бути планові або прогнозні значення параметрів. У випадку їх відсутності необхідно використовувати середні значення за відповідні періоди у минулому. У результаті дослідження можна зробити висновок, що визначення прогнозованих технологічних витрат газу і належності фактичних розрахованих до припустимих меж є суттєвим фактором підвищення загального результату – ефективності роботи газотранспортної системи.

Для оцінки вірогідності результатів, отриманих за формулою (6) були проведені числові дослідження. Проведено 150 розрахунків обсягу технологічних витрат газу за вихідними даними, обраними за останні 5 років для ГТС у цілому. Результати зіставлялися зі значеннями ТВ, що були визначені традиційним шляхом [5]. У 73 % випадків розбіжність результатів складала 5–7 %. Це свідчить про те, що пропонуваній наближений метод достатньо вірно описує зміни обсягів ТВ від режимно-технологічних факторів роботи газопроводів.

У 27 % випадків результати відрізнялись на 20 % і більше. У тому числі в 7 випадках результати відрізнялись на 60–70 %. Це може свідчити про помилки при розрахунках або порушенні регламенту здійснення обліку технологічних витрат природного газу.

Висновки

1. Розроблено наближений метод розрахунку обсягів технологічних витрат природного газу в залежності від режимно-технологічних параметрів експлуатації газопроводів газотранспортної системи.

2. Розроблений метод дозволяє прогнозувати очікуваний обсяг технологічних витрат газу в залежності від режиму роботи газопроводів..

3. Розроблений метод дозволяє здійснювати оперативний контроль щодо достовірності обсягів технологічних витрат газу, що були отримані розрахунковим шляхом.

Література

1. ДСТУ 336-96 Лічильники газу побутові.
2. ДСТУ EN 12261:2006 Лічильники газу турбінні. Загальні технічні умови.
3. ДСТУ EN 12405:2006 Коректори до лічильників газу електронні. Загальні технічні умови.
4. ДСТУ EN 12480:2006 Лічильники газу роторні. Загальні технічні умови.
5. Визначення обсягів витрат природного газу на виробничо-технологічн потреби під час його транспортування газотранспортною системою та експлуатації підземних сховищ. – К. : ДК «Укртрансгаз» – 2012. –60 с.
6. Дияк И. Энергосбережение: сегодняшние реалии//Электронный журнал «Экологические системы». – №6. – июнь 2008.
7. Маляренко В.А., Ильченко М.Б. Снижение энергозатрат при эксплуатации газотранспортных систем путем автоматизации их учета Х.– Коммунальное хозяйство городов.– № 134 (2017).– С. 27–33.
8. Маляренко В.А., Ильченко М.Б. Режимно-технологічні параметри для оцінки вірогідності розрахунку балансу газу в газотранспортній системі В.А. Маляренко, М.Б. Ильченко//Комунальне господарство міст. – 2017. – № 135.– С. 100–107.
9. Афифи А., Эйзен. С. Статистический анализ / А. Афифи, С. Эйзен // М. – Мир.– 1982. – 488 с.
10. Себер Дж. Линейный регрессионный анализ / Дж. Себер // М. – Мир.– 1980. – 456 с.

Bibliography (transliterated)

1. DSTU 336-96 Lichil'niki gazu pobutovi.
2. DSTU EN 12261:2006 Lichil'niki gazu turbinni. Zagal'ni tekhnichni umovi.
3. DSTU EN 12405:2006 Korektori do lichil'nikiv gazu elektronni. Zagal'ni tekhnichni umovi.
4. DSTU EN 12480:2006 Lichil'niki gazu rotorni. Zagal'ni tekhnichni umovi.
5. Vznachennya obsyagiv vitrat prirodnogo gazu na virobnicho-tekhnologichn potrebi pid chas jogo transportuvannya gazotransportnoyu sistemoyu ta ekspluatacii pidzemnih skhovishch. – K. : DK «Ukrtransgaz» – 2012. – 60 p.
6. Diyak I. Energoberezhnie: segodnyashnie realii // Elektronnyj zhurnal «Ekologicheskie sistemy». – №6. – iyun' 2008.
7. Malyarenko V.A., Il'chenko M.B. Snizhenie ehnergozatrat pri ehkspluatacii gazotransportnyh sistem putem avtomatizacii ih ucheta H.– Kommunal'noe hozyajstvo gorodov.– № 134 (2017).– P. 27–33.
8. Malyarenko V.A., Il'chenko M.B. Rezhimno-tekhnologichni parametri dlya ocinki virogidnosti rozrahunku balansu gazu v gazotransportnij sistemi V.A. Malyarenko, M.B. Il'chenko//Komunal'ne gospodarstvo mist. – 2017. – № 135.– P. 100–107.

9. Afifi A., Eljzen. S. Statisticheskij analiz / A. Afifi, S. Eljzen // М. – Mir.– 1982. – 488 p.
10. Seber Dzh. Linejnyj regressionnyj analiz / Dzh. Seber // М. – Mir.– 1980. – 456 p.

УДК 621.165

Маляренко В.А., Ильченко М.Б.

**ПРИБЛИЖЕННЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА ЗАТРАТ ПРИРОДНОГО ГАЗА НА
ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ НУЖДЫ
ГАЗОТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ**

Представлен анализ структуры и способов определения составляющих затрат природного газа на производственно-технологические нужды при эксплуатации газотранспортной системы. Отмечается существующая на практике высокая трудоемкость расчетов и недостаточная достоверность исходных данных. Описан новый подход приближенного определения технологических затрат газа, использующий информационную модель, построенную на основе методов регрессионного анализа.

Модель устанавливает зависимость расхода газ на технологические нужды от режимно-технологических параметров работы газопроводов. Степень их влияния на величину технологических затрат определена с помощью корреляционного анализа.

Полученные зависимости позволяют оперативно осуществлять контроль достоверности технологических затрат газа и прогнозировать их значения в зависимости от режима работы газопроводов.

Malyarenko V., Ilchenko M.

**APPROXIMATE METHOD OF CALCULATION OF NATURAL GAS
EXPENSES FOR INDUSTRIAL AND TECHNOLOGICAL NEEDS
OF GAS TRANSPORTATION SYSTEM**

The analysis of the structure and methods of determining the components of natural gas expenses for industrial and technological needs in the operation of the gas transportation system is presented. The existing high practical complexity of calculations and insufficient reliability of the initial data are noted. A new approach to the approximate determination of technological gas expenses is described, using information model, which based on regression analysis methods.

The model establishes the dependence of gas consumption on technological needs on the regime-technological parameters of the operation of gas pipelines. The degree of their influence on the value of technological costs is determined by means of correlation analysis.

The obtained dependencies will allow to quickly check the reliability of technological costs of gas and predict their values depending of the regime operation of gas pipelines.