

## КРИТЕРІЇ НАДІЙНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЛОКАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

М.Д.Степ'юк

УМГ «Прикарпаттрансгаз», 76000, м. Івано-Франківськ, вул. Незалежності, 48,  
тел. (0342) 559088, e-mail: mstepyuk@gmail.com

*Розглядаючи проблему надійності газотранспортної системи як техніко-економічну, необхідно визначити фактори і показники, які мають найбільш суттєвий вплив на її розв'язок. Такими пропонується вважати коефіцієнт готовності і коефіцієнт продуктивності локальної системи*

*Рассматривая проблему надёжности газотранспортной системы как технико-экономическую, необходимо определить факторы и показатели, имеющие наиболее существенное влияние на её решение. Такими предлагается считать коэффициент готовности и коэффициент производительности локальной системы.*

*To consider the problem of reliability of the gas-transport system as a technicoeconomic system the main factors and indicators that have a profound effect on that problem's solution should be determined. Such factors as availability factor and productivity factor of local system are offered to be considered as the main factors.*

В умовах інтенсивного розвитку ринків газу надзвичайно актуальною є проблема забезпечення надійності й ефективності роботи газотранспортної системи, що досягається постійною підтримкою об'єктів у належному функціональному стані, що, у свою чергу, вимагає своєчасного і повного фінансування.

Як відомо, методи підвищення надійності газопровідних систем поділяються на доексплуатаційні (схемні і конструктивні) і експлуатаційні. Впливати на надійність функціонуючого газопроводу можна лише забезпечивши правильну технічну експлуатацію. Експлуатація, окрім безпосереднього використання основного і допоміжного технологічного устаткування для виконання виробничих задач з транспортування газу, містить у собі також систему технічного обслуговування і ремонту, виконавців, необхідних для підтримки і відновлення якості об'єктів і їхніх елементів, що входять в систему.

З огляду на той факт, що аварійність магістральних газопроводів і ГПА залишається досить високою, а темпи їх «старіння» значно випереджають темпи виконання капітального ремонту, одним з головних засобів підтримки експлуатаційної надійності є система технічного обслуговування і ремонту.

Методи і підходи до вирішення перерахованих задач базуються на результатах досліджень провідних вчених галузі В.Л.Березіна, П.П.Бородавкіна, Л.Г.Телегіна, Н.Х.Халлієва, Е.М.Ясіна, К.Е.Решепкіна, З.Г.Галіулліна, А.Ф.Комягіна й ін.

Разом з тим, аналіз досвіду експлуатації газотранспортних систем і наукових досліджень у цій галузі доводить необхідність подальшого опрацювання задач і удосконалення організації експлуатаційного обслуговування лінійної частини, КС, ГПА та їх елементів.

З позицій системного аналізу система технічного обслуговування і ремонту характеризується визначеним складом, структурою і режимом функціонування.

Існуючі способи оптимізації обслуговування ґрунтуються на стратегіях, для реалізації

яких необхідна інформація про велику кількість параметрів режиму роботи агрегату, що створює певні труднощі у вирішенні задачі. Тому для оцінки стану ГПА слід звзвити коло визначальних параметрів і вибрати один узагальнюючий, який найповніше характеризував би надійність роботи кожного газоперекачуючого агрегата і КС загалом.

Розглядаючи паливно-енергетичне господарство України як єдину структуру, можемо здійснити його поділ на локальні системи, між якими існують тісні зовнішні зв'язки. Кожна така система виконує конкретні, тільки їй притаманні функції. На найвищому ієрархічному рівні система газопостачання виступає як локальна система паливно-енергетичного господарства. Подальший поділ системи газопостачання на внутрішні локальні системи здійснюється залежно від завдань, що вирішуються. До таких локальних систем можна віднести газодобувні райони, газові промисли, районні газопостачальні системи, окремі магістральні газопроводи або групи газопроводів, виділені в систему, станції підземного зберігання газу (або групи сховищ, що забезпечують один вузол споживання), компресорні станції, лінійні ділянки магістрального газопроводу. Далі розглянемо роботу газотранспортної локальної системи та визначимо критерії надійності її функціонування. Основною функцією газотранспортної системи є безперебійна подача природного газу споживачеві, де мірою продуктивності є кількість газу, що транспортується за одиницю часу.

Будь-яка виділена локальна система виступає як «джерело» виконання певних функцій стосовно тієї частини системи газопостачання, що є «споживачем» її продукції (рис. 1).

І «джерело», і «споживач», як локальні системи, володіють певними характеристиками. Так основною характеристикою можливостей локальної системи як джерела виконання заданих функцій є потенційна продуктивність (або потужність)  $\omega$  в певний період часу. «Споживач» характеризується значенням попиту (або

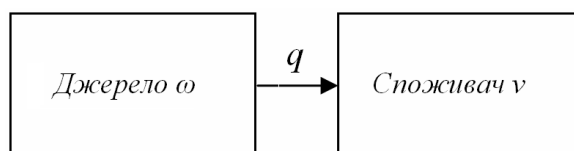


Рисунок 1 – Локальна система як «джерело» стосовно іншої системи газопостачання

плановою продуктивністю) в той же період (потребою в газі, плановим завданням щодо закачування або відбору газу, необхідним обсягом транспортування газу). Загалом попит  $v$  може відрізнитися від відповідних величин, певних планів, однак це питання тут не розглядатимемо, й приймемо, що попит відповідає вимогам виконання планових завдань (перспективних, поточних, оперативних). Величини  $\omega$  та  $v$  змінні в часі і залежать від багатьох чинників. Так, продуктивність газотранспортної системи (характеристика «джерела») може змінюватись через вихід з ладу устаткування, ремонт або ліквідацію окремих установок й об'єктів системи, включення в роботу відновлених і новоспруджених установок, модернізацію устаткування, зміну тиску в мережі, зміну коефіцієнтів гідравлічного опору газопроводів тощо. Відповідно для «споживача» визначальними чинниками, що впливають на графік газоспоживання, є коливання температури та інших умов зовнішнього середовища, уведення нових потужностей і районів газоспоживання, зміна планів газоспоживання, зміна технологій у споживачів газу, можливі виходи з ладу й ремонти газотранспортного і газоспоживаючого устаткування.

Отже, загалом, миттєві продуктивності «джерела»  $\omega$  і «споживача»  $v$  є нестаціонарними випадковими функціями. Тому проблема надійного газопостачання вирішується при забезпеченні оптимального узгодження  $\omega$  та  $v$  в заданому інтервалі часу  $T$  (наприклад,  $T=365$  діб). Залежно від конкретних умов завдання кожна з величин ( $\omega$  й  $v$ ) на певному проміжку часу  $T$  функціонування системи може бути задана або функцією часу (у тому числі й випадкова), або набором можливих дискретних значень і відповідних їм імовірностей, або безперервною функцією розподілу [1].

Далі розглянемо основні показники надійності газотранспортної локальної системи, що є характерними для «джерела» і «споживача» продукції і знайдемо серед них визначальні, за допомогою яких можна давати оцінку надійності системи.

Роботу «споживача» за період  $T$  характеризують такі показники:

– середнє навантаження, що залежить від виду завдання миттєвого навантаження або як середня за часом,

$$\bar{v} = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) dt = \frac{V}{T}, \quad (1)$$

де  $V$  – загальна потреба в продукції (кількості газу, що транспортується) за період  $T$ , або як математичне очікування величини  $v$ :

$$\bar{v} = E(v);$$

– максимальне навантаження (в заданому інтервалі часу)  $v_m = \max v$ ;

– час використання максимуму навантаження (кількість діб, годин). Це – період, протягом якого система газоспоживання працювала б з постійним навантаженням  $v(t) = v_m$  при максимальній потребі в газі за період,

$$T_m = \frac{V}{v_m} = \frac{v}{v_m} T; \quad (2)$$

– максимальний коефіцієнт нерівномірності газоспоживання за період  $T$

$$K_n = \frac{v_m}{v} = \frac{T}{T_m} \quad (3)$$

чи обернений до нього

– коефіцієнт використання максимуму навантаження  $T_m/T$ .

Так, при кількості діб за рік використання максимуму навантаження  $T_m = 310$  ( $T=365$  діб) коефіцієнт нерівномірності  $K_n = 1,18$ .

За аналогією із «споживачем», «джерело» може також бути охарактеризоване деякими власними параметрами:

– середньою продуктивністю (потужністю)

$$\bar{\omega} = \frac{1}{T} \int_0^T \omega(t) dt \text{ або } \bar{\omega} = E(\omega); \quad (4)$$

– максимально можливою або проектною продуктивністю (коли всі елементи локальної системи справні)

$$\omega_m = \max \omega;$$

– середнім значенням недовикористання проектної продуктивності

$$\bar{\omega} = \omega_m - \bar{\omega}; \quad (5)$$

– коефіцієнтом запасу продуктивності «джерела», що вказує на ступінь зміни потенційної продуктивності в даному проміжку часу. Якщо  $\omega$  розглядається як випадкова величина, то її розкид зручніше характеризувати дисперсією  $D = \sigma^2 = E\left[(\omega - \bar{\omega})^2\right]$  або безрозмірним

коефіцієнтом варіації  $v = \frac{\sigma}{\bar{\omega}}$ .

Для визначення основних показників надійності, що є характерними для обох локальних систем, розглянемо спільну роботу «джерела» й «споживача». З рис. 1 видно, що відповідно до умов матеріального балансу, в будь-який момент часу потік від «споживача» до «джерела» дорівнює найменшій з величин продуктивності та потреби в продукції. Таким чином,

$$q = \min\{\omega, v\}.$$

Робота системи характеризується двома різними станами, що наступають у послідовні проміжки часу: у проміжки часу  $T_{1i}$  необхідне навантаження повністю забезпечується локальною системою ( $\omega \geq v$ ), а у проміжки часу  $T_{2i}$  потрібне навантаження лише частково забезпечується локальною системою ( $\omega < v$ ) [2]. Таким чином, загальний час „справної“ роботи системи за період  $T$  складе  $T_I = \sum_i T_{1i}$ , а загальний

час „несправної” роботи –  $T_2 = \sum_i T_{2i}$ .

Доля часу, коли система „справна”, тобто повністю забезпечує потрібне навантаження, характеризується коефіцієнтом готовності системи

$$P = \frac{T_1}{T} = \frac{T_1}{T_1 + T_2}. \quad (6)$$

Для ймовірнісної системи більш точним визначенням коефіцієнта готовності є ймовірність справної роботи, тобто в нашому випадку

$$P = p(\omega \geq v). \quad (7)$$

Коефіцієнт готовності – важливий показник надійності.

Для умовних систем [3], у яких зниження потужності нижче необхідної межі, означає відмову системи, наприклад, для окремих елементів складної газотранспортної системи (ГПА, адсорбери, вентилятори і т.п.), коефіцієнт готовності можна вважати основним, практично вичерпним показником надійності.

Розглянута нами локальна система є безумовною, оскільки характеризується, в основному, лише певним недопостачанням продукції порівняно з попитом, а не повною відмовою системи. Тому тут необхідно використати параметри надійності, що вказують на ступінь недопостачання продукції за час  $T_2$ , протягом якого  $\omega < v$ . Миттєве недопостачання визначається різницею цих величин

$$q_- = v - \omega,$$

а середнє за час  $T$  недопостачання залежністю

$$\bar{q}_- = \frac{1}{T} \int_0^T q_-(t) dt \quad (8)$$

або як математичне очікування цієї величини

$$\bar{q}_- = E(q_-).$$

У ряді робіт, присвячених дослідженню надійності газотранспортних і аналогічних їм локальних систем, ставиться питання про те, який з показників надійності системи є основним, визначальним. В [4] пропонується розглядати як такий показник математичне очікування недопостачання газу  $\bar{q}_-$ . Необхідність оцінки середньої або інтегральної величини недопостачання газу споживачам під час дослідження надійності та резервів не викликає сумнівів, оскільки саме ця величина визначає глибину збитку від невиконання вимог контрактів щодо постачання продукції споживачам. Даний показник буде мати значний вплив і на обґрунтування оптимальних резервів системи, проте обсяг недопостачання газу в натуральному виразі не дає можливості порівнювати різні за продуктивністю системи. Тому ми пропонуємо як основний показник надійності використовувати відносне недопостачання газу за час  $T$  або коефіцієнт недопостачання

$$K_- = \frac{Q_-}{V} = \frac{\bar{q}_-}{v}, \quad (9)$$

де:  $Q_- = \bar{q}_- T$  – сумарне недопостачання за певний проміжок часу, для якого ведеться аналіз;

$V = \bar{v} \cdot T$  – сумарна потреба в природному газі за цей час.

Вважаємо, що зручно також використати поняття коефіцієнта продуктивності локальної системи

$$\pi = 1 - \frac{Q_-}{V} = 1 - \frac{\bar{q}_-}{v} \quad (10)$$

аналогічно прийнятому в енергетиці «індексу надійності».

Деякі автори для оцінки надійності енергетичних систем використовують такий показник як індекс надійності, вважаючи його вичерпною характеристикою (див., наприклад, [5, 6]). Однак такий підхід однобічний, оскільки при одному і тому ж сумарному недопостачанні енергії або газу споживачеві можливий різний відносний час, протягом якого підприємство не виконує умови договорів, контрактів тощо. Так, якщо протягом року компресорна станція через аварію була відключена на кілька днів, а весь інший час виконувала замовлення в повному обсязі, то така ситуація означає більш високу надійність, ніж хоч і часткове, але систематичне невиконання замовлення (при тому ж сумарному недопостачанні) протягом усього періоду.

Отже, на нашу думку, для повної оцінки надійності локальної газотранспортної системи варто використати коефіцієнт готовності і коефіцієнт продуктивності системи, а під час аналізу абсолютного збитку через ненадійність системи – також і обсяг недопостачання продукції (природного газу). У той же час при оцінці надійності окремих елементів локальної системи можна обмежитися лише одним з показників надійності – коефіцієнтом готовності.

### Література

- 1 Райкин А.А. Вероятностные модели функционирования резервированных устройств. – М.: Наука, 1971. – 276 с.
- 2 Вольський Э.Л., Гарляускас А.И., Герчиков С.В. Надёжность и оптимальное резервирование газовых промыслов и магистральных газопроводов. – М.: Недра, 1980. – 290 с.
- 3 Горский Л.К. Статистические алгоритмы исследования надёжности. – М.: Наука, 1970. – 358 с.
- 4 Журавлёв И.Г., Леонтьев И.А. Оптимизация надёжности при расчёте резервирования систем газодобычи. – М.: ВНИИГазпром, 1972. – 112 с.
- 5 Терентьев А.М. Эксплуатационная надёжность газотранспортного оборудования. – М.: Недра, 1985. – 257 с.
- 6 Терентьев А.Н., Седых З.С., Дубинский В.Г. Надёжность газоперекачивающих агрегатов с газотурбинным приводом. – М.: Недра, 1979. – 207 с.
- 7 Эксплуатационная надёжность газотранспортного оборудования. [Сборник научных трудов]. – М.: ВНИИГАЗ, 1985. – 68 с.

Стаття поступила в редакційну колегію 18.12.08  
Рекомендована до друку професором  
В. Я. Грудзом