

НАФТОГАЗОВА СПРАВА

Трубопровідний транспорт, нафтогазосховища

УДК 621.438:622

DOI: 10.31471/2304-7399-2018-2(46)-137-150

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИСТЕМ ГАЗОПОСТАЧАННЯ НА ОСНОВІ ОПТИМІЗАЦІЇ ОБСЛУГОВУВАННЯ

В. Я. Грудз¹, Я. В. Грудз¹, В. М. Боднар²

¹Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;
76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15; тел. (03422) 727138;
e-mail: public@iung.edu.ua

²БМФ Укргазпромбуд; e-mail: bodnar-vm@utg.ua

Наведено загальні принципи вибору обсягу запасних частин в процесі експлуатації систем газопостачання для випадків відновлювальних і не відновлювальних елементів. Розглядається номенклатура як перелік номерів і найменувань запасних інструментів та приладдя, складений в певному групуванні і послідовності відповідно до технічної документації заводів-виготовлювачів і містить механічні деталі, вузли і агрегати. Критерії оцінки достатності комплекту запасних частин вибрано з умови достатньої надійності процесу експлуатації системи, заснованої на оцінках вірогідності появи відмови в період регулярної заміни елементів. Попит на запасні частини і матеріали носить випадковий характер і розглядається у вигляді стаціонарного процесу, описуваного розподілом Пуассона. Принцип розрахунку зводиться до визначення вірогідності того, що в механізмі будуть заповнені всі канали обслуговування і всі місця очікування відповідно до теорії масового обслуговування. В результаті запропоновано методика розрахунку обсягу запасних частин в процесі експлуатації систем газопостачання.

Ключові слова: системи газопостачання, обсяг запасних частин, розподіл Пуассона.

Забезпечення надійної експлуатації системи газопостачання нерозривно пов'язане з керуванням оперативною системою обслуговування устаткування, яка повинна бути забезпечена достатнім резервом запасних елементів, що встановлюються замість несправних. Збільшення обсягу запасних частин і устаткування призводить до підвищення експлуатаційної надійності газотранспортної системи з одного боку і до подорожчання системи обслуговування з іншого. Тому, очевидно, існує оптимальний обсяг резервних елементів для конкретної газотранспортної системи, при якому буде забезпечено максимальну надійність експлуатації з мінімальними витратами на обслуговування.

Для математичного опису процесу функціонування системи формування і складування запасів і для можливості прогнозування параметра потоку заявок на запасні частини і устаткування для аварійного і профілактичних ремонтів необхідно мати можливість оцінювати інтенсивність відмов (параметр потоку) на лінійній частині магістрального газопроводу і компресорних станціях

Комплект запасних інструментів і приладдя (ЗІП) повинен містити всі необхідні а процесі експлуатації елементи. Іноді відсутність необхідних елементів в комплектах ЗІП набагато збільшує час відновлення апаратури. Проте створення надмірних розмірів ЗІП економічно нераціональне, оскільки при цьому відбувається заморожування величезних засобів і нерідко дефіцитних елементів. Отже, правильне комплектування ЗІП, оптимізація його за вартістю - важлива проблема у вирішенні питань ремонтпридатності основного устаткування систем газопостачання.

Кількість необхідних елементів в комплектах запасних частин газового устаткування визначається розрахунком залежно від причин відмов і середньої кількості очікуваних відмов (замін), раптових (поломка) і поступових (зношування, старіння, корозія) відмов.

Кількість запасних частин для основного газового устаткування залежить від рівня технічної експлуатації, термінів умов і режимів експлуатації, кваліфікації обслуговуючого персоналу, рівня організації і матеріального постачання резервними елементами і ін.

Інтенсивність відмов залежить від часу поповнення ЗІП, його необхідної достатності, організації постачання і ступеня його відновлюваності.

За характером використання елементи устаткування можна диференціювати на відновлювані (блоки, вузли, модулі і т.д.) і невідновлювані. До невідновлюваних відносяться такі елементи устаткування які після відмови недоцільно відновлювати. Відновлювані елементи групового устаткування ремонтують або на місці експлуатації силами обслу-

говуючого персоналу чи виїзних ремонтних бригад, або в спеціальних ремонтних службах.

Аналітично інтенсивність відмов елементів визначається співвідношенням:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}, \tag{1}$$

де $f(t)$ – щільність імовірності часу безвідмовної роботи; $P(t)$ – імовірність безвідмовної роботи за час t .

Припущення про те, що інтенсивність відмов є постійною величиною приймається за робочу гіпотезу H_1 , тобто при H_1 $\lambda(t) = t$, а припущення, що це не так, за альтернативну гіпотезу, тобто $H_a - \lambda(t) = const$. Нехай T_1, T_2, \dots, T_m являють собою вибірку, обсягом n незалежних спостережень (безаварійна робота різноманітних елементів) із генеральної сукупності з довільною щільністю імовірності. Вважається, без обмеження загальності, що вибірка являє собою ряд значень, розташованих у порядку зростання: T_1, T_2, \dots, T_m .

Інтервали D_i і нормалізовані інтервали D_{Hi} визначаються в такий спосіб:

$$\begin{aligned} D_1 &= T_1, & D_{H_1} &= mD_1, \\ D_2 &= T_2 - T_1, & D_{H_2} &= (m-1)D_2, \\ &\dots\dots\dots & & \\ D_m &= T_m - T_{m-1}, & D_{H_m} &= D_m. \end{aligned}$$

Припустимо, що

$$V_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{при } D_{Hi} \leq D_{Hj}, \\ 0 & \text{при } D_{Hi} < D_{Hj}, i > j. \end{cases} \tag{2}$$

Статистика V_n визначена в такий спосіб:

$$V_n = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^i V_{ij}. \tag{3}$$

Тоді робоча гіпотеза діє до рівня α , якщо $V_m > \gamma_{m,\alpha}$, де граничне значення $\gamma_{m,\alpha}$ визначається так, щоб $P\{V_m > \gamma_{m,\alpha} / H_0\} = \alpha$. У цьому випадку робоча гіпотеза не діє. При $V_m \leq \gamma_{m,\alpha}$ приймається робоча гіпотеза.

Евристична перевірка гіпотези за допомогою даного критерію може бути обґрунтована в такий спосіб. При робочій гіпотезі нормалізовані інтервали D_{Hi} розподілені незалежно, кожний по експонентному закону, тому

$$P\{V_{i,j} = 1\} = 0,5 \text{ при } i, j = 1, \dots, m, i \neq j. \tag{4}$$

При справедливості альтернативної гіпотези $P\{V_{i,j} = 1\} > 0,5$ при $i, j = 1, 2, \dots, m$ коли $i < j$, оскільки для більш ранніх моментів часу розміри інтервалів повинні бути більші, ніж для пізніших. Таким чином, кожне значення $V_{i,j}$ і, отже, V_m буде більше за альтернативної гіпотези. Тому при великих V_m робоча гіпотеза відхиляється.

Для практичного застосування критерію необхідно знати розподіл V_m , виходячи з якого можна знайти $\gamma_{m,\alpha}$.

Розподіл імовірностей $P\{V_m = k\}$ при справедливості робочої гіпотези визначається такою формулою з [102]:

$$P\{V_m = k\} = \frac{\Pi_m(k)}{m!}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, \quad (5)$$

де $\Pi_m(k)$ – число перестановок нормалізованих інтервалів D_{Hi} , у яких має місце точно k випадків $D_{Hi} > D_{Hj}$ при $i > j$.

Для $\Pi_m(k)$ справджується таке рекурентне співвідношення (при $m > 2$):

$$\Pi_m(k) = \Pi_{m-1}(k) + \Pi_{m-1}(k-1) + \dots + \Pi_{m-1}(k-m+1), \quad (6)$$

де $\Pi_{m-1}(k) = 0$ при $k < 0$.

На основі зазначених співвідношень імовірність $P(V_m = k)$ може бути підрахована для будь-якого значення m . Для цього використовуються табличні значення функції розподілу

$$F(\gamma) = P\{V_m \leq k\}$$

для $m \geq 10$, отриманої за допомогою записаної раніше рекурентної формули для $\Pi_m(k)$.

Визначивши V_m за дослідними даними, знаходимо процентну точку $\gamma_{m,\alpha}$ розподілу V_m , що задається рівнянням

$$F\{\gamma_{m,\alpha}\} = 1 - \alpha.$$

Порівняння V_m і $V_{m,\alpha}$ закінчує розв'язок задачі.

Якщо при аналізі надійності газотранспортної системи використовувати зведення про заявки на аварійний ремонт, коли відбувається їх заміна, то за даними про їх безаварійну роботу до моменту аварії утворюється не оцінка інтенсивності відмов $\lambda(t)$, а оцінка параметра потоку відмов $\omega(t)$. Параметр (або інтенсивність) потоку відмов дорівнює середньому числу відмов в одиницю часу:

$$\omega(t) = \omega(i\Delta t) = \omega_i = \frac{m_i(\Delta t)}{M^* \Delta t}, \quad (7)$$

$$i = 1, 2, \dots, \lfloor T_p / \Delta t \rfloor$$

де $m_i(\Delta t)$ – кількість елементів труб, замінених в i -ому інтервалі напруження $[i\Delta t, (i+1)\Delta t]$; M^* – кількість елементів труб, замінених на початку експлуатації; T_p – час, протягом якого ведеться спостереження за об'єктом (тобто час ресурсу).

Прийнятій моделі зміни інтенсивності аварій відповідає наступна щільність імовірності часу безаварійної роботи:

$$f(t) = \lambda e^{-\int_0^t \lambda(\bar{t})d\bar{t}} = \lambda e^{-\lambda t} \quad (8)$$

Параметр потоку відмов $\omega(t)$, що утворюється при експлуатації з заміною аварійних ділянок трубопроводу, якщо інтенсивність аварій на цих ділянках $\lambda(t)$ відома, задається фундаментальною формулою теорії відновлення:

$$\omega(t) = f(t) + \int_0^t f(t-\tau)\omega(\tau)d\tau, \quad (9)$$

де $f(t)$ – щільність імовірності часу безаварійної роботи.

Процес формування комплекту запасних частин складається з двох етапів: визначення номенклатури запасних вузлів, елементів і розрахунку їх кількості.

Номенклатурою запасних частин є перелік номерів і найменувань ЗП, складених за певними групами і послідовностями відповідно до технічної документації заводів-виготовлювачів і містить механічні деталі, вузли і агрегати; деталі, комплекти і складальні одиниці електроустаткування, гідрообладнання, прилади паливної апаратури і систем живлення; вироби з гуми, пластмас, пробки і інших матеріалів. У номенклатуру запасних частин включаються також елементи систем, ресурс яких є меншим повного ресурсу системи до списання; елементи, які можуть мати в процесі експлуатації випадкові і аварійні пошкодження, які можуть виникнути при розбірно-складальних операціях; елементи, які можуть бути загублені в процесі експлуатації. Вказана номенклатура повинна розроблятися на початок випуску системи і уточнюватися в процесі їх експлуатації.

Номенклатура запасних частин газового устаткування в ремонтних комплектах залежить від умов і досвіду експлуатації аналогічних деталей, можливості попередження їх відмов, середнього ресурсу деталей, методики і досвіду ремонту устаткування на місці або на ремонтній базі.

При використанні агрегативного методу ремонту у складі ЗП повинні знаходитися знімні агрегати (блоки, модулі). Якщо ремонт знімних відновлюваних елементів відбувається на місці експлуатації, то ЗП додатково повинен містити невідновні елементи механізму.

Під час розрахунку кількості запасних елементів може статися так, що деякі деталі, включені в попередню номенклатуру, необхідно з неї виключити у випадку, якщо результати розрахунку свідчать, що вірогідність відмови їх в період експлуатації або ремонту незначна.

Для виявлення кількості запасних елементів для газового устаткування необхідно визначити залежність цієї кількості від стратегії про-

філактичного обслуговування. Профілактичні стратегії передбачаються в такому виді [1,5]:

- нульова або базова стратегія, яка полягає в наступному: при технічному обслуговуванні замінюють елементи, що тільки відмовили, тобто устаткування експлуатують без профілактичних заміни елементів;

- групова стратегія заміни, при якій належить встановлювати оптимальний інтервал заміни T_3 . При цьому в моменти часу $T_3, 2T_3, 3T_3 \dots$ замінюють всі елементи даного типу, включаючи і ті з них, які недавно поставлені замість тих, що відмовили;

- стратегія заміни із напрацювання або індивідуальна стратегія. В цьому випадку елемент, що знаходиться в системі, замінюють при напрацюванні T_3 . Якщо відмова відбулася до цього часу, то профілактична заміна нового елемента, поставленого замість того, що відмовив, відтермінується і її здійснюють тільки після фактичного досягнення цим елементом нормативного ресурсу.

Розглянемо вплив роду відмов устаткування систем газопостачання на кількість запасних частин. Розрізняють два різновиди відмов: раптові і поступові. У разі раптової відмови невідновлювані елементи в системі замінюють справними елементами з числа запасних, а елементи, що відмовили, не ремонтують. ЗІП поповнюється з фондів загального складу.

Незалежно від методики ремонту газового устаткування можуть бути здійснені три схеми забезпечення її запасними елементами [2]:

1. Нормальна, коли є одиничний і груповий комплекти запасних елементів.

2. Одиночна, коли відсутній груповий комплект запасних елементів.

3. Групова, коли відсутні одиничні комплекти запасних елементів.

Час відсутності необхідного елемента в комплекті запасних елементів назвемо часом відновлення елемента ЗІП. Він складається з часу доставки елемента, заміни його на складі і очікування заміни або ремонту.

Середній час відновлення механізму можна представити у вигляді чотирьох компонентів [3]:

$$T_{ВП} = T_{АР} + T_{Зч} + T_{ОР} + T_{П}$$

де $T_{АР}$, $T_{Зч}$, $T_{ОР}$ – середній час відповідно активного ремонту, вимушеного простою устаткування через відсутність в ЗІП необхідних елементів (час постачання), вимушеного простою устаткування при поточному ремонті через адміністративні чинники (виклик бригади ремонту і т.д.).

Цей вираз зручніше представити у вигляді:

$$T_{ВП} = T_{ВП}^* + T_{Зч}$$

де $T_{ВП}^* = T_{АР} + T_{ОР} + T_{П}$ - середній час відновлення устаткування при необмеженому (ідеальному) комплекті ЗІП, тобто за відсутності затримки в постачанні.

У свою чергу середній час відновлення устаткування можна виразити через середній час відновлення устаткування при відмові певних елементів:

$$T_{ВП} = \sum_{i=1}^N t_{ВПi} q_i \quad (10)$$

де $t_{ВПi}$ – середній час відновлення устаткування при відмові i -го елемента;

$$t_{ВПi} = t_{ВПi}^* + t_{зчi}$$

$t_{ВПi}^*$, $t_{зчi}$ – компоненти тільки для i -го елемента; N – кількість елементів в механізмі; q_i – вірогідність відмови устаткування i -го елемента при достовірному факті відмови устаткування.

Не порушуючи загальності в (10), можна перейти від конкретного елемента до групи однотипних елементів заміною $t_{ВПi}$ на $t_{ВПj} q_j$

$$T_{ВП} = T_{ВП}^* + T_{зч} = \sum_{j=1}^k t_{ВПj} q_j,$$

звідки

$$T_{зч} = \sum_{j=1}^k t_{зчj} q_j,$$

де k – кількість груп елементів в механізмі (номенклатура елементів); $t_{ВПj}$ – середній час вимушеного простою устаткування при поточному ремонті через елементи j -ї групи; q_j – вірогідність відмови механізму через елементи j -ї групи при відмові механізму взагалі, тобто умовна вірогідність відмови устаткування через елементи j -ї групи.

Величина $T_{зч}$ може бути прийнята за критерій достатності ЗІП. Проте ЗІП безпосередньо впливає на коефіцієнт готовності газового устаткування, яким задається в технічному завданні на апаратуру, що обумовлює необхідність пов'язати критерій достатності ЗІП з коефіцієнтом готовності механізму [6,7], який можна записати так:

$$K_{Г} = \frac{T_{P}}{T_{P} + T_{ВП}^* + T_{зч}},$$

де T_{P} – напрацювання на відмову або

$$K_{Г} = \frac{T_{P}}{T_{P} + T_{ВП}^*} * \frac{T_{P} + T_{ВП}^*}{T_{P} + T_{ВП}^* + T_{зч}} = K_{Г}^* P_{D}, \quad (11)$$

де $K_{Г}^* = \frac{T_{P}}{T_{P} + T_{ВП}^*}$ – коефіцієнт готовності устаткування при необмеженому комплекті ЗІП;

$P_{D} = \frac{T_{P} + T_{ВП}^*}{T_{P} + T_{ВП}^* + T_{зч}}$ – коефіцієнт забезпеченості устаткування КС запасними елементами.

З (11) слідує, що коефіцієнт забезпеченості механізму ЗІП істотно впливає на коефіцієнт готовності механізму і відображає ступінь зменшення його за рахунок ЗІП.

Таким чином, якщо середній час відновлення устаткування $T_{ВП}$ і коефіцієнт готовності механізму $K_{Г}$ – критерії ремонтпридатності, то середній час простою механізму $T_{Зч}$ через ЗІП і коефіцієнта забезпеченості устаткування механізму ЗІП P_D – критерії забезпеченості устаткування запасними елементами. Для приблизного розрахунку визначення кількості запасних частин використовуємо принцип, заснований на оцінках вірогідності появи відмови в період регулярної заміни елементів.

Тривалість простою між двома регулярними або плановими оглядами залежить від надійності механізму і визначається середнім числом його відмов і часом, що витрачається на усунення цих відмов. Якщо середнє напрацювання на відмову механізму рівне T_0 , то можна знайти, наскільки часто він відмовлятиме за час t_0 між двома регулярними оглядами (T_0 – напрацювання механізму, рівне поточному часу за вирахуванням загальної тривалості простою). Якщо між двома регулярними оглядами на механізм не впливають відмови унаслідок зносу, і його працездатність змінюється за експоненціальним законом [3], вірогідність безвідмовної роботи між двома оглядами:

$$P(t_0) = \exp(-t_0 / T_0), \quad (12)$$

Середній час між оглядами T_{cp} – обчислюють для напрацювання t_0 аналогічно тому, як розраховують середнє напрацювання на відмову інтеграцією $P(t)$ від нуля до безмежності. Середній час між оглядами фактично є середнім часом між плановими і позаплановими оглядами:

$$T_{cp} = \int_0^{t_0} P(t) dt$$

У разі експоненціального закону:

$$T_{cp} = \int_0^{t_0} \exp(-t/T_0) dt = T_0 [\exp(-t/T_0)] \Big|_0^{t_0} = T_0 Q(t_0).$$

Якщо прийнята планова регулярна заміна деталей, кількість відмов через зношення може бути значно зменшена, а практично їх можна зовсім виключити, завдяки правильному вибору періоду заміни. Вірогідність того, що механізм відмовить під час роботи, різко зменшується, якщо в період між регулярними замінами елементів можуть відбутися тільки раптові відмови [2,4], число однотипних елементів, що підлягають заміні, зважаючи на відмови в період до регулярної заміни τ_3 складатиметься:

$$k = NQ(\tau_3),$$

де N – число однотипних елементів газового устаткування; $Q(\tau_3)$ – вірогідність відмови одного елемента за період напрацювання між двома

регулярними замінами (τ_3).

Якщо $Q(\tau_3)$ мале і наголошуються тільки раптові відмови, може бути використане наближення:

$$Q(\tau_3) = \frac{\tau_3}{T_0},$$

звідси

$$k = \tau_3 \frac{N}{T_0}.$$

Точний розрахунок номенклатури і кількості запасних частин ґрунтується на обліку фізичної моделі виникнення відмов, показників безвідмовності і довговічності, а також значення регламентованої вірогідності, обслуговуючої необхідний рівень надійності виробу при регулярній заміні деталей із ЗПП.

Кількість запасних частин одиночного комплекту встановлюється розрахунковим методом залежно від характеристик для елемента причин відмови, тобто за раптовими відмовами (поломка) або за поступовими (зношування, старіння, корозія). Кількість запасних частин кожного типорозміру може бути визначене як для одного і того ж типу машин, так і для устаткування різних типів, зважаючи на те, що вони володіють конструктивною спадкоємністю.

Попит на запасні частини і матеріали може носити детермінований або випадковий характер. У останньому, більш загальному випадку, попит розглядають у вигляді стаціонарного процесу, описуваного розподілом Пуассона [4], який позначає вірогідність отримати m_i відмов i -го типу елементів устаткування системи газопостачання за час t , якщо інтенсивність відмов цих елементів λ_i :

$$P_{m_i, \lambda_i, t} = \frac{(\lambda_i t)^{m_i}}{m_i!} \exp(-\lambda_i t). \quad (13)$$

Вірогідність того, що число відмов m_i не перевищить числа запасних частин k_{3i} :

$$P(m_i \leq k_{3i}, \lambda_i, t) = \sum_{l=1}^{k_{3i}} \frac{(\lambda_i t)^l}{l!} \exp(-\lambda_i t). \quad (14)$$

Число k_{3i} запасних частин буде достатнім, якщо

$$P(m_i \leq k_{3i}) \geq P_D,$$

де P_D – достатність запасних частин (близька до одиниці).

Середнє число замін елементів даного вигляду

$$m_i = N \lambda_i t, \quad (15)$$

де N – число елементів i -го типу в устаткуванні системи газопостачання.

З (5) знаходимо сумарну інтенсивність замін конструктивних елементів

$$\Lambda_3 = N\lambda_i. \quad (16)$$

Підставивши (16) в (14), отримуємо вірогідність того, що за час t число елементів, що відмовили, не перевищить числа запасних частин k_{3i} :

$$P(m_i \leq k_{3i}) = P_3 = \sum_{l=1}^{k_{3i}} \frac{(\lambda_i t)^k}{k!} \exp(-\lambda_i t) \geq P_D. \quad (17)$$

Для зручності проведення розрахунків часто користуються іншою формулою:

$$1 - P_3 = 1 - \sum_{l=1}^{k_{3i}} \frac{(\lambda_i t)^k}{k!} \exp(-\lambda_i t) = \sum_{k_3+1}^{\infty} \frac{(\lambda_i t)^k}{k!} \exp(-\lambda_i t) \geq P_D, \quad (18)$$

де $1 - P_3 = P(m \geq k_3)$ – вірогідність того, що замінювана кількість елементів i -го типу буде більша від числа запасних частин k_{3i} .

Отже, якщо відомі значення Λ_3 і t , то, задавшись достатністю запасних частин P_D можна встановити необхідну кількість запасних частин k_3 .

Залежність складу ЗІП від допустимої його недостатності також очевидна. Ступінь недостатності вимірюється вірогідністю того, що число елементів, що відмовили, буде більшим числа елементів, що знаходяться в ЗІП для заміни. Якщо в ЗІП є два елементи, а вірогідність того, що за час T відбудеться більше двох відмов, рівна $0,1$, то це означає, що достатність ЗІП рівна $0,9$, а недостатність – $0,1$. Коефіцієнт достатності ЗІП P_D задається зазвичай $0,9...0,99$.

Запишемо процедуру визначення числа запасних частин деякого i -го типу для елементарного випадку, коли потік відмов – простий і замінювані елементи не відновлюються. Нехай інтенсивність відмов i -го типу елементів рівна λ_i час поповнення i -го типу елементів T_{inon} , число i -х елементів N_i , достатність ЗІП P_D .

Визначимо значення сумарної інтенсивності відмов i -го елементу

$$\Lambda_3 = \lambda_i N_i.$$

Заповнимо табл. 1 значеннями вірогідності наступним чином: за час поповнення ЗІП T_{inon} відбудеться деяке число m_i випадкових відмов, в залежності від числа $m_i = 0, 1, 2, 3, \dots, k_{3i}$ і числа Λ_3 будуть змінюватися $P(m_i, \Lambda_3)$. Другий рядок таблиці заповнюється значеннями $P(m_i, \Lambda_3)$, розрахованими за (4), де λ_i замінено Λ_3 . Третій рядок заповнюється для кожного m_i , причому кожне значення рівне сумі всіх елементів в попередньому рядку аж до даного. Четвертий рядок – доповнення третього до одиниці.

Таблиця 1. Ймовірність $P(m_i, \Lambda_3)$ в залежності від m_i і k_{3i}

| | | | | | |
|----------------------|------------------|------------------|------------------|-----|----------------------|
| k_{3i} | $k_{3i}=0$ | $k_{3i}=1$ | $k_{3i}=2$ | ... | k_{3i} |
| $P(m_i, \Lambda_3)$ | P_0, Λ_3 | P_1, Λ_3 | P_2, Λ_3 | ... | P_{k_3}, Λ_3 |
| $P(m_i \leq k_{3i})$ | $P(m_i \leq 0)$ | $P(m_i \leq 1)$ | $P(m_i \leq 2)$ | ... | $P(m_i \leq k_{3i})$ |
| $P(m_i > k_{3i})$ | $P(m_i > 0)$ | $P(m_i > 1)$ | $P(m_i > 2)$ | ... | $P(m_i > k_{3i})$ |

Якщо кількість запасних частин кожного типу k_{3i} має необхідну ймовірність P_i , вірогідність достатності загальної кількості запасних частин P_D всіх типів протягом часу експлуатації устаткування буде рівна твору всієї приватної вірогідності P_i :

$$P_D = \prod P_i.$$

Необхідна кількість запасних частин для підтримки працездатності устаткування компресорних станцій магістральних газопроводів слід визначати в такому порядку. З табл. 1 виберемо таке значення P_D , яке не менше заданого значення достатності ЗІП P_D . Число k_{3i} відповідне цьому значенню P_D , рівне числу запасних елементів в ЗІП можна також скористатися рядком таблиці. У цьому випадку $1 - P_3$ повинне бути менше допустимої недостатності ЗІП.

Величину P_i залежно від наслідку відмови об'єкту приймають:

- при відмові з тяжкими наслідками, пов'язаними з небезпекою для людського життя – 0,95...0,99;
- при відмові в режимі роботи (викликає збитки від простою) – 0,90...0,99;
- при невиконанні функції в заданому обсязі (факт відмови) – 0,95...0,96.

У практичних розрахунках вважають, що ймовірності можна прийняти рівними. Тоді

$$P_i = \sqrt[k]{P_D},$$

або наближено

$$P_i = 1 - \frac{1 - P_D}{k}.$$

Для кожного типу запасних частин устаткування систем газопостачання середню очікувану кількість відмов протягом часу T_p (час експлуатації) можна визначити так [5,6]:

$$m_i = N\lambda_{pi}T_{pi} + N\lambda_{очи}T_{очи}. \tag{19}$$

де λ_{pi} – інтенсивність відмов i -го елемента в робочому режимі; T_p – напрацювання i -го елемента; $\lambda_{оvi}$ – інтенсивність відмов i -го елемента у відключеному режимі (режимі зберігання); $T_{оvi}$ – час очікування i -го елемента; N – кількість елементів i -го типу.

Для підтримки працездатності устаткування протягом заданого часу з вірогідністю, достатньо близькою до одиниці, кількість запасних частин кожного типу повинна відповідати не середньому очікуваному, а достатньому, щоб із заданою вірогідністю підтримати працездатність механізму.

Достатня кількість запасних частин k_{3i} i -го типу визначається таким чином:

- за заданою вірогідністю знаходимо P_D ;
- знаходимо P_i для кожного типу запасних частин.

Інтенсивність відмов:

$$\Lambda_{3i} = \frac{m_i}{T_k}. \quad (20)$$

Далі використовується методика, що описана вище.

Питання оптимізації об'ємів запасів розглядаються в теорії управління запасами, яка дає наступний вираз функції витрат:

$$C = C_3 \sum_{m=0}^{k_3-1} (k_3 - m)P(m) + C_n \sum_{m=k_3-1}^{\infty} (m - k_3)P(m), \quad (21)$$

де C_3 – питомі (віднесені до однієї одиниці зберігання) витрати, пов'язані з постачанням і зберіганням запасу на складі; $P(m)$ – вірогідність відмови m деталей за час t C_n – питомі (віднесені до однієї одиниці зберігання) збитки від простоїв агрегату через брак деталей на складі.

Перший член (21) є математичним сподіванням витрат, пов'язаних з постачанням і зберіганням запасу на складі; другий – математичне сподівання збитків від простоїв агрегатів через брак там деталей.

Оптимальна величина запасу k_{3opt} відповідна мінімуму функції визначається при відомих значеннях величин C_3 і C_n за умови:

$$P(m \leq (k_{3opt} - 1)) \leq E \leq P(m \leq k_{3opt}), \quad (22)$$

причому

$$E = \frac{C_n}{C_3 + C_n}.$$

З (22) видно, що показник E , по суті, оцінює економічно обґрунтований рівень вірогідності забезпечення достатності запасних елементів P_{Donm} . Практично можна прийняти

$$E = P_{Donm},$$

або

$$E = P(m \leq k_{3onm}).$$

При спрощених розрахунках за питомі витрати C_3 можна приймати вартість деталі, а питомі збитки C_n оцінювати добутком середнього значення годинної собівартості елементів, що відмовили, за час простою через відсутність запасних деталей на складі.

Таким чином, приведені принципи вибору обсягу запасних частин під час експлуатації систем газопостачання для випадків відновлювальних і невідновлювальних елементів дали змогу створити методичку, яка містить засади формування номенклатури як перелік номерів і найменувань запасних інструментів та приладдя, складений в певному групуванні і послідовності, критерії оцінки достатності комплекту запасних частин, які вибрано з умови достатньої надійності процесу експлуатації системи, засновану на оцінках вірогідності появи відмови в період регулярної заміни елементів. Показано, що попит на запасні частини і матеріали носить випадковий характер і розглядається у вигляді стаціонарного процесу, описуваного розподілом Пуассона. Принцип розрахунку зводиться до визначення ймовірності того, що в механізмі будуть заповнені всі канали обслуговування і всі місця очікування відповідно до теорії масового обслуговування.

Література

1. Байхельт Ф., Франкен П. Надежность и техническое // Математический подход: Пер. с нем. М.: Радио о связь, 1988. – 392 с.
2. Барзилович Е.Ю. Модели технического обслуживания сложных систем. – М.: Высшая школа, 1982. – 231 с.
3. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1978. – 399 с.
4. Гнеденко Б.В., Коваленко И.Н. Введение в теорию массового обслуживания. 2-е изд. – М.: Наука, 1987. – 336 с.
5. Грудз В.Я., Тымків Д.Ф., Яковлев Е.И. Обслуживание газотранспортных систем. – Киев: 1991. – 160 с.
6. . Грудз В.Я., Тимків Д.Ф, Михалків В.Б., Костів В.В. Обслуговування і ремонт газопроводів. – Івано-Франківськ.: Лілея-НВ, 2009. – 711 с.
7. Ставровский Е.Р., Сухарев М.Г., Карасевич Н.М. Методы расчета надежности магистральных газопроводов // – Новосибирск: Наука, 1982. – 92 с.

Стаття надійшла до редакційної колегії 13.12.2018 р.

*Рекомендовано до друку д.т.н., професором **Тимківим Д.Ф.**,
д.т.н., професором **Говдяком Р.М.** (м. Київ)*

IMPROVED RELIABILITY OF OPERATION OF GAS SUPPLY SYSTEMS ON THE BASIS OF SERVICE OPTIMIZATION**V. Ya. Grudz,¹ Ya. V. Grudz,¹ V. M. Bodnar²**

¹*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas; 76019, Ivano-Frankivsk, Carpathians str., 15; e-mail: snp@nung.edu.ua*

²*BMF Ukrgezprobud; e-mail: bodnar-vm@utg.ua*

General principles of the spare parts amount selection when operating gas supply systems for renewable and non-renewable elements have been developed. Nomenclature is considered as a list of numbers and names of reserve instruments and equipment, which is compiled in accordance with a certain grouping and sequencing according to the producing plants technical documentation and which includes mechanical details, assemblies, and aggregates. The assessment criteria of the spare parts set sufficiency have been chosen based on the condition of the sufficient system operation reliability which is based on the estimates of the failure emergence probability during the period of regular element removals. The demand for spare parts and materials is of random nature and it is considered as a stable process which is described by the Poisson's distribution. The calculation principle comes down to determining the possibility of the fact that all the service channels and waiting spaces in the mechanism will be filled in accordance with the queuing theory. The technique for spare parts amount selection when operating gas supply systems has been developed eventually.

Key words: *gas supply system, the amount of spare parts, the Poisson distribution.*