

ПЛАНУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ МІСЬКИХ ГАЗОВИХ МЕРЕЖ В УМОВАХ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОЇ СИСТЕМИ

¹В.Я. Грудз, ¹Я.В. Грудз, ²О.В. Ганжа, ¹Н.Я. Дрінь

¹ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 727138,
e-mail: public@nung.edu.ua

²ПАТ «Рівнегаз»; 33027, м. Рівне, вул. Білякова, 4, тел. (0362) 643902

Розглядається процес керування технічним станом газорозподільних міських мереж, які включають різномісний елементи і мають складну розгалужену і закільцьовану структуру. Задача відноситься до категорії оптимізації процесу обслуговування. Метою дослідження є оптимізація графіка профілактичних ремонтів системи газопостачання, яка включає незалежні підсистеми. Оптиміальний графік технічного обслуговування визначається з умови вибору значень моментів часу, що забезпечують екстремум показників якості функціонування комплексу технологічних об'єктів у зоні централізованого обслуговування системи газопостачання. Як критерій оптимальності процесу обслуговування запропоновано використати техніко-економічний показник, зокрема середні сумарні питомі витрати на експлуатацію системи. Отримані в результаті проведених досліджень залежності дають змогу оцінювати режими обслуговування складної системи газопостачання, що включає різномісний, територіально розосереджені, але функціонально взаємозалежні технологічні об'єкти системи газопостачання в регіоні центральної бази технічного обслуговування і ремонту, вони дають можливість розраховувати оптимальний графік планових ремонтів системи газопостачання.

Ключові слова: система газопостачання, обслуговування, оптимізація, графік профілактичних ремонтів, сумарні питомі витрати.

Рассматривается процесс управления техническим состоянием газораспределительных городских сетей, которые включают разнотипные элементы и имеют сложную разветвленную и закольцованную структуру. Задача относится к категории оптимизации процесса обслуживания. Целью исследования является оптимизация графика профилактических ремонтов системы газоснабжения, которая включает независимые подсистемы. Оптиміальний графік технічного обслуговування визначається з умови вибору значень моментів часу, які забезпечують екстремум показників якості функціонування комплексу технологічних об'єктів в зоні централізованого обслуговування системи газоснабження. Як критерій оптимальності процесу обслуговування пропонується використовувати техніко-економічний показник, в частині середні сумарні удільні витрати на експлуатацію системи. Отримані в результаті проведених досліджень залежності дозволяють оцінювати режими обслуговування складної системи газоснабження, яке включає різномісний, територіально розосереджені, але функціонально взаємозалежні технологічні об'єкти системи газоснабження в регіоні центральної бази технічного обслуговування і ремонту, вони дозволяють розраховувати оптимальний графік планових ремонтів системи газоснабження.

Ключевые слова: система газоснабжения, обслуживание, оптимизация, график профилактических ремонтов, суммарные удельные расходы.

The process of technical state management of city gas-distributing networks which include different-type elements and have complex distributed and closed structure is examined. The task refers to the category of maintenance process optimization. The purpose of the study is to optimize preventive repairs graph of the gas-supply system which includes independent subsystems. The optimum maintenance graph will be determined from the condition of value choice of time moments, which provide extreme quality values of the technological objects complex functioning in the area of the centralized gas-supply system maintenance. The technical-and-economic index and, in particular, average total specific expenditures for the system operation is suggested to be utilized as a maintenance optimality criterion. The dependences, obtained in the result of the conducted studies, allow to estimate the modes of the complex gas-supply system maintenance, which includes different-type geographically-distributed, but functionally interdependent facilities of the gas-supply system in the region of the central base maintenance and repair. The mentioned dependences allow to work out an optimum graph for the gas-supply system maintenance.

Keywords: gas-supply system, maintenance, optimization, graph of preventive repairs, total specific expenditures.

Система міського газозабезпечення з точки зору процесу обслуговування являє собою надзвичайно складну технічну мережу з розгалуженою і закільцьованою газотранспортною сіткою, спорудженою з різномісних газопроводів як її елементів, газорозподільних станцій (ГРС) та газорозподільних пунктів (ГРП), пов'язаних

між собою складними функціональними залежностями. Тому процес профілактичного обслуговування такої мережі слід розглядати як багатofакторну оптимізаційну задачу в умовах централізованої системи обслуговування.

Розглянемо процес керування технічним станом об'єктів у регіоні централізованого об-

слуговування системи газопостачання, що включає незалежні і безупинно функціонуючі об'єкти (розглянуті як технічні підсистеми). Під незалежними підсистемами розуміють незалежність їхніх відмов - допущення, що є основним, як правило, при розгляді надійності трубопроводних систем з позиції системного підходу.

Як підсистеми беруться до уваги окремі ГРС, ГРП, багатониткові і закільцьовані ділянки лінійної частини трубопроводів, а також окремі вузли редукування і регулювання газу.

Мета задач керування обслуговуванням - складання оптимального графіка планових відновлювальних ремонтів технологічного устаткування на об'єктах зони централізованого обслуговування і ремонту системи газопостачання. При виведенні основних залежностей, що описують процес обслуговування системи і дають змогу одержати оптимальні його показники, використовуються наступні припущення для технологічного устаткування об'єктів системи газопостачання:

1) потік відмов технологічного устаткування є пуассонівським нестационарним. Імовірність появи K відмов на i -му технологічному об'єкті системи газопостачання за час (t_1, t_2) визначиться як:

$$P_K^{(i)}(t_1, t_2) = \frac{[\Lambda_i(t_2) - \Lambda_i(t_1)]^K}{K!} \exp[-\Lambda_i(t_1) + \Lambda_i(t_2)];$$

2) планові профілактичні роботи на окремих об'єктах системи газопостачання незалежні;

3) тривалість аварійного ремонту ξ_1 технологічного устаткування на i -му об'єкті є випадкова величина з довільною функцією розподілу $G_i(x)$ і з математичним очікуванням $\tau_{cp}^{AP(i)}$;

4) середня тривалість планових попереджувальних ремонтів на i -му об'єкті обслуговування детермінована і стала, тобто $\tau_{cp}^{np} = const$;

5) порядок організації обслуговування: i -тий експлуатований об'єкт через деякий календарний період часу τ_i після проведення планового ремонту $(i-1)$ -го технологічного об'єкта і триваючого $\tau_{cp}^{np(i-1)}$, виводиться на плановий ремонт із середньою тривалістю $\tau_{cp}^{np(i-1)}$ для $i = 1$ підсистеми, з номером $(i-1)$ буде m -на підсистема.

У практиці експлуатації основного устаткування системи газопостачання можна визначити два випадки планового обслуговування: а) планові ремонти проводяться при нормально функціонуючому об'єкті включенням резервних блоків; б) планові ремонти зв'язані з порушенням основного технологічного режиму об'єкта обслуговування. Оскільки основні об'єкти системи газопостачання є резервованими, доцільно зволіти перший випадок проведення планових заходів, однак, для більшої простоти висновків

розглянемо другий випадок, після чого врахуємо специфічні особливості першого підходу.

Оптимальний розклад технологічного обслуговування визначиться з умови вибору значень $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_i, \dots, \tau_m$, що забезпечують екстремум показників якості функціонування комплексу технологічних об'єктів у зоні централізованого обслуговування системи газопостачання.

Як критерій оптимізації системи ремонтів варто використовувати техніко-економічний показник [1], зокрема середні сумарні питомі витрати на експлуатацію системи. У цьому випадку розв'язок задачі полягає в описі показника середніх сумарних питомих витрат $C(\vec{\tau})$ і зводиться до процедури

$$\min_{\vec{\tau}} C(\vec{\tau}) = C(\vec{\tau}^*), \quad (1)$$

де $\vec{\tau}$ - m -мірний вектор.

Функція мети визначиться з залежності:

$$C(\vec{\tau}) = \frac{\sum_{i=1}^r a_i C}{K_r(\vec{\tau})}, \quad (2)$$

де r - число станів системи газопостачання;

a_i - середні питомі витрати, зв'язані з перебуванням комплексу об'єктів системи газопостачання в i -тому стані;

$K_i(\vec{\tau})$ - коефіцієнт, визначений як частка часу, що система приводить у i -му стані в стаціонарному процесі обслуговування;

$K_r(\vec{\tau})$ - коефіцієнт готовності системи (комплексу експлуатованих об'єктів) газопостачання в цілому.

Якщо допустити, що кожний з територіально розосереджених об'єктів обслуговування може знаходитися в трьох станах: справного функціонування, у плановому ремонті й аварійному ремонті, то загальне число станів системи газопостачання складе $r = q^m$, де $q = 3$.

Введемо в розгляд випадковий вектор $\eta(t)$, що характеризує стан системи газопостачання в довільний момент часу t ; i -тий компонент $\eta(t)$ ($i = 1, 2, \dots, m$) вектора $\eta(t)$ має реалізації:

$$\eta(t) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } i\text{-ий об'єкт знаходиться в робочому стані } E_1^{(i)} \\ 2, & \text{якщо на } i\text{-ому технологічному об'єкті проводяться планово-попереджувальні роботи і він перебуває в стані } E_2^{(i)} \\ 3, & \text{якщо } i\text{-ий об'єкт системи газопостачання знаходиться в стані аварійної відмови } E_3^{(i)} \end{cases}$$

Таким чином, навіть при невеликому m число станів системи загалом є досить великою множиною. Число розглянутих станів системи газопостачання можна значно скоротити, якщо

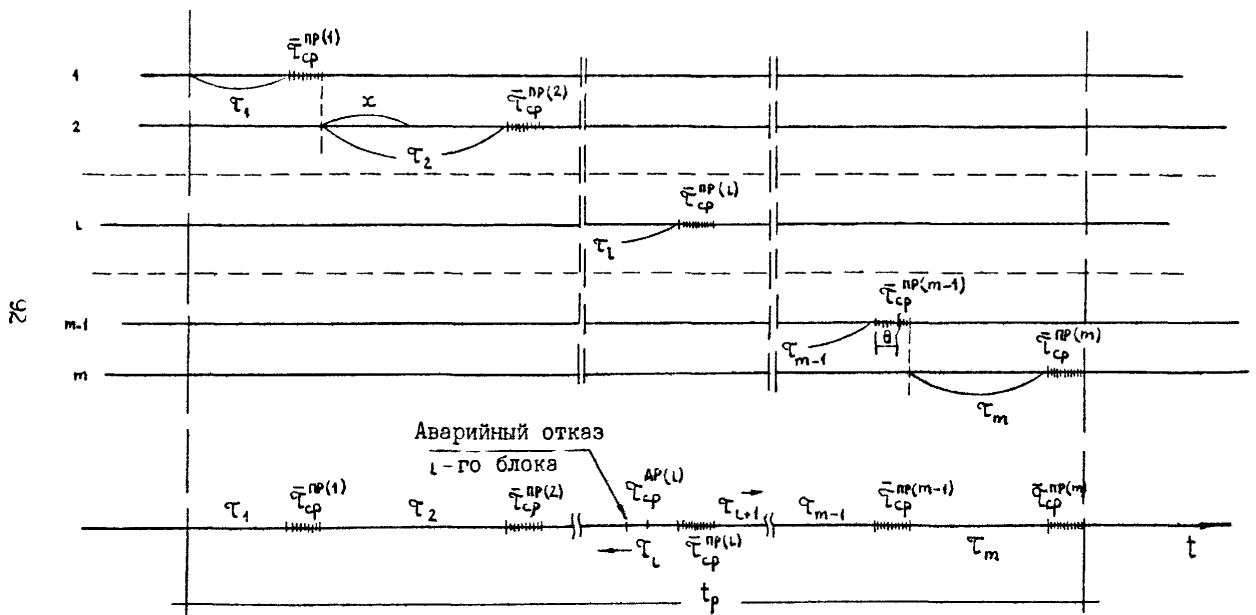


Рисунок 1 – Схема процесу обслуговування технологічних об’єктів в регіоні централізованого обслуговування системи газопостачання

врахувати, що регіональна система газопостачання обслуговується однією централізованою базою.

Припустимо, що на централізованій базі обслуговування системи мається спеціалізована бригада планового обслуговування й аварійна бригада з високою оперативною готовністю, тобто обслуговування є роздільним. Тоді події, що полягають у реалізації станів $E_2^{(i)}$, $i = 1, 2, \dots, m$, – несумісні, що впливає з умови почергового планового обслуговування об’єктів системи. Події, що відповідають станам $E_1^{(i)}$, $E_3^{(i)}$, $i = 1, 2, \dots, m$, – сумісні, так само як і події $E_2^{(i)}$, $E_3^{(i)}$, $i = 1, 2, \dots, m$.

Якщо припустити, що одночасне настання більш двох аварійних відмов технологічних об’єктів у регіоні однієї централізованої бази обслуговування є подією малоймовірною, рівною мірою як і проведення планових робіт, коли в системі аварійно вийшло з ладу більш одного об’єкта, число розглянутих станів може бути додатково скорочено.

Допустимо також, що технологічне устаткування на кожнім з об’єктів у зоні централізованого обслуговування системи обслуговується за зручною в практичній реалізації і дуже ефективною стратегією технічного обслуговування – стратегією календарного планування [2]. Тоді система в цілому повертається у вихідний стан після проведення планових робіт на i -ій підсистемі стосовно її стану в момент закінчення попередніх планових робіт на тій же підсистемі. Отже, випадковий процес зміни станів $\eta(t)$ – процес відновлення з періодом

$$t_p = \sum_{i=1}^m \left(\tau_i + \tau_{cp}^{-np(i)} \right), \quad (3)$$

що дає змогу скористатися математичним апаратом теорії відновлення.

З огляду на (2) і (3), а також зроблені допущення про структуру обслуговування, функція мети набуває вигляду:

$$C(\vec{\tau}) = \left\{ \sum_{i=1}^m a_{np}^{(i)} M \left\{ T_2^{(i)}(\vec{\tau}) \right\} + \sum_{i=1}^m a_{AP}^{(i)} M \left\{ T_3^{(i)}(\vec{\tau}) \right\} + \sum_{i=1}^m \sum_{K=1}^m \sum_{K>i} (a_{AP}^{(i)} + a_{AP}^{(K)}) M \left\{ T_3^{(i,K)}(\vec{\tau}) \right\} + \sum_{i=1}^m \sum_{K=1}^m \sum_{K \neq i} (a_{np}^{(i)} + a_{AP}^{(K)}) M \left\{ T_{2,3}^{(i,K)}(\vec{\tau}) \right\} \right\} \times \left\{ M \left\{ T_1(\vec{\tau}) \right\} \right\}^{-1}, \quad (4)$$

де $M \left\{ T_1(\vec{\tau}) \right\}$ – математичне очікування (МО) часу безвідмовної роботи системи газопостачання за період відновлення випадкового процесу $\eta(t)$;

$M \left\{ T_2^{(i)}(\vec{\tau}) \right\}$ – МО часу перебування i -го об’єкта системи газопостачання в плановому попереджувальному ремонті при справній роботі інших $m - 1$ експлуатованих об’єктів;

$M \left\{ T_3^{(i)}(\vec{\tau}) \right\}$ – МО часу перебування i -го технологічного об’єкта в аварійному відновлювальному ремонті при нормальній роботі інших $m - 1$ об’єктів системи;

$M \left\{ T_3^{(i,K)}(\vec{\tau}) \right\}$ – МО часу спільного перебування i -го і K -го ($K \neq i$) об’єктів системи газопостачання в аварійному відмовленні при справній роботі інших;

$M \left\{ T_{2,3}^{(i,K)}(\vec{\tau}) \right\}$ – МО часу простою i -го технологічного об’єкта в плановому ремонті разом з K -м в аварійному ремонті ($K \neq i$) при нормальній роботі інших $m = 2$ об’єктів системи газопостачання.

Тоді

$$M\{T_1^{(i)}(\bar{\tau})\} = \sum_{i=1}^m \int_0^{\tau_i} \prod_{j=1}^m [1 - \tau_{cp}^{AP(i)} \lambda_j(\xi_{ij} + x)] dx. \quad (5)$$

Середній час перебування *i*-го експлуатованого об'єкта системи газопостачання в плановому відбудовному ремонті при справному функціонуванні інших об'єктів комплексу визначається аналогічним чином:

$$M\{T_2^{(i)}(\bar{\tau})\} = \int_0^{\tau_{cp}^{np(i)}} S_i(\theta) d\theta. \quad (6)$$

де $S_i(\theta)$ - імовірність безвідмовної роботи $m - 1$ об'єктів системи в момент θ з інтервалу $(0, \tau_{cp}^{np(i)})$, $i = 1, 2, \dots, m$ (рис. 1).

Оскільки остання подія спостерігається при настанні $m - 1$ спільних подій, то

$$S_i(\theta) = \prod_{\substack{j=1 \\ J \neq i}}^m P_{ij}(\theta), \quad (7)$$

де $P_{ij}(\theta)$ - імовірність того, що *j*-ий об'єкт системи газопостачання нормально функціонує у даний момент.

Враховуючи дані припущення, вираз для $P_{ij}(\theta)$ у (7) визначиться аналогічно (4):

$$P_{ij}(\theta) \approx \prod_{j=1}^m [1 - \tau_{cp}^{AP(j)} \lambda_j(\xi_{ij} + \tau_i + \theta)]. \quad (8)$$

Підставивши (7) і (8) у (6), одержимо:

$$M\{T_2^{(i)}(\bar{\tau})\} = \int_0^{\tau_{cp}^{np(i)}} \prod_{j=1}^m [1 - \tau_{cp}^{AP(j)} \lambda_j(\xi_{ij} + \tau_i + \theta)] d\theta. \quad (9)$$

Аналогічно (3) середній час перебування *i*-го експлуатованого об'єкта в аварійному ремонті при безвідмовній роботі інших технологічних об'єктів системи газопостачання за період відновлення процесу $\eta(t)$:

$$M\{T_3^{(i)}(\bar{\tau})\} = \int_0^{\tau_p} U_i(t) dt = \sum_{K=1}^m \int_0^{\tau_i} U_i(t) dt. \quad (10)$$

де $U_i(t)$ - імовірність перебування *i*-го об'єкта в аварійному відновленні (позначимо подію А) при нормальній роботі інших об'єктів системи (події V_j , $J = 1, 2, \dots, m$, $j \neq i$).

Оскільки подія А і події В сумісні, то

$$U_i(t) = P_{Ki}^A(t) \prod_{\substack{j=1 \\ J \neq i}}^m P_{Kj}^B(t), \quad K = 1, 2, \dots, m, \quad (11)$$

де $P_{Ki}^A(t)$ - імовірність застати *i*-ий експлуатований об'єкт у стані аварійного ремонту в момент t , $0 \leq t \leq \tau_K$;

$P_{Kj}^B(t)$ - імовірність перебування *j*-го об'єкта обслуговування системи газопостачання в працездатному стані в момент t з інтервалу $(0, \tau_K)$.

Подія А спостерігається при реалізації трьох неспільних подій:

A_1 , що полягає в тому, що до моменту t *i*-ий технологічний об'єкт зовсім не відмовляв, але аварійне відмовлення наступило саме до цього моменту;

A_2 - до моменту t устаткування *i*-го об'єкта системи відмовляло, але його працездатність була відновлена проведенням аварійних ремонтів і до розглянутого моменту часу t відмовило в черговий раз;

A_3 - *i*-ий експлуатований об'єкт системи відмовляв і до моменту t його черговий аварійний ремонт ще не закінчився.

Очевидно, $A = A_1 \cup A_2 \cup A_3$. Подія типу А полягає в тому, що при зроблених припущеннях про експлуатоване устаткування системи газопостачання можна вважати, що

$$P_{Ki}^A(t) \approx \tau_{cp}^{AP(i)} \lambda_j(\xi_{Ki} + t), \quad K = 1, 2, \dots, m, \quad (12)$$

де ξ_{Ki} визначається з (4).

Оскільки події V_j ідентичні подіям \bar{A} , $j = 1, 2, \dots, m$, $J \neq i$), то

$$P_{Ki}^B(t) \approx 1 - \tau_{cp}^{AP(J)} \lambda_j(\xi_{Ki} + t). \quad (13)$$

Підставивши (10) у (9), з обліком (12) і (13) запишемо:

$$M\{T_3^{(i)}(\bar{\tau})\} = \sum_{K=1}^m \tau_{cp}^{AP(i)} \times \int_0^{\tau_K} \lambda_j(\xi_{Ki} + t) \prod_{\substack{J=1 \\ J \neq i}}^m [1 - \tau_{cp}^{AP(J)} \lambda_j(\xi_{Ki} + t)] dt, \quad (14)$$

C - перебування інших об'єктів системи в справному функціонуванні до цього ж моменту t ;

$$P_J^C(t) \approx 1 + \tau_{cp}^{AP(J)} \lambda_j(\xi_{ij} + \tau_i + t),$$

$$J = 1, 2, \dots, m, \quad j \neq i \neq K.$$

На підставі попередніх висновків

$$M\{T_{2,3}^{(i,K)}(\bar{\tau})\} = \int_0^{\tau_{cp}^{np(i)}} P_K^B(t) \prod_{\substack{J=1 \\ J \neq i \neq K}}^m P_J^C(t) dt. \quad (15)$$

Для кожного з об'єктів системи можна записати:

$$M\{T_2^{(i)}(\bar{\tau})\} = \tau_{cp}^{np(i)} - M\{T_{2,3}^{(i,K)}(\bar{\tau})\};$$

$$M\{T_1^{(i)}(\bar{\tau})\} = \tau_p - M\{T_3^{(i)}(\bar{\tau})\} - M\{T_{2,3}^{(i,K)}(\bar{\tau})\}.$$

Остаточний вираз для функції мети $C(\bar{\tau})$

запишемо підстановкою (5), (9), (14) і (1.69) у (5).

$$C(\bar{\tau}) = \left\{ \sum_{i=1}^m a_{np}^{(i)} \int_0^{\tau_{cp}^{np(i)}} \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m [1 - \tau_{cp}^{AP(j)} \lambda_j(\xi_{ij} + \tau_i + t)] dt + \right. \\ \left. + \sum_{i=1}^m a_{AP}^{(r)} \sum_{i=1}^m \tau_{cp}^{AP(i)} \int_0^{\tau_i} \lambda_r(\xi_{ir} + t) \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq r}}^m [1 - \tau_{cp}^{AP(j)} \lambda_j(\xi_{ij} + t)] dt + \right.$$

$$\begin{aligned}
 & + \sum_{i=1}^m \sum_{K=1}^m \left(a_{AP}^{(r)} + a_{AP}^{(K)} \right) \sum_{i=1}^m \tau_{cp}^{AP(r)} \tau_{cp}^{AP(K)} \times \\
 & \times \int_0^{\tau_i} \lambda_r(\xi_{ir} + t) \lambda_K(\xi_{iK} + t) \prod_{\substack{j=1, \\ j \neq r}}^m [1 - \tau_{cp}^{AP(j)} \lambda_j(\xi_{ij} + t)] dt + \\
 & + \sum_{i=1}^m \sum_{K=1}^m \left(a_{np}^{(i)} + a_{AP}^{(K)} \right) \tau_{cp}^{AP(K)} \times \\
 & \times \int_0^{\tau_{cp}^{np(i)}} \lambda_K(\xi_{iK} + \tau_i + t) \prod_{\substack{j=1, \\ j \neq i \neq K}}^m [1 - \tau_{cp}^{AP(j)} \lambda_j(\xi_{ij} + \tau_i + t)] dt \Bigg\} \times \\
 & \times \left\{ \sum_{i=1}^m \int_0^{\tau_i} \prod_{j=1}^m [1 - \tau_{cp}^{AP(j)} \lambda_j(\xi_{ij} + t)] dt \right\}^{-1},
 \end{aligned}$$

де вираз для ξ_{ij} , $i, j = 1, 2, \dots, m$ визначаються з (8).

Як вказувалося раніше, планові відновлювальні ремонти основного устаткування, проведені на ряді об'єктів системи газопостачання, не зв'язані з порушенням технологічного режиму роботи об'єкта, що обслуговується. У цих випадках не виключені можливості настання аварійних відмов і під час проведення власне планового ремонту технологічного устаткування. Тоді події $E_3^{(i)}$ можуть відбуватися на всьому періоді відновлення випадкового процесу $\eta(t)$, що характеризує стан системи.

Отримані залежності дають змогу досліджувати режими обслуговування складної системи газопостачання, що включає m різнотипних, територіально розосереджених, але функціонально взаємозалежних (загальними цілями функціонування) технологічних об'єктів системи газопостачання в регіоні центральної бази технічного обслуговування і ремонту, вони дають змогу розраховувати оптимальний графік планових ремонтів системи газопостачання, що включає m різнотипних розосереджених безупинно функціонуючих технологічних об'єктів.

У випадку обслуговування двох однакових об'єктів системи газопостачання ($m = 2$) розв'язок розглянутої задачі зводиться до оптимізації виду:

$$\min_{\tau_1, \tau_2} C(\tau_1, \tau_2) = C(\tau_1^*, \tau_2^*). \quad (17)$$

У випадку двох однакових підсистем, якщо виконується умова $1 - \tau_{cp}^{AP} \lambda(0) \geq 0$ мінімум функції $1 - K_r(\tau_1, \tau_2)$ досягається при $\tau_1 = \tau_2$. Оскільки для ряду технологічних об'єктів системи газопостачання умова $1 - \tau_{cp}^{AP} \lambda(0) \geq 0$, як правило, виконується, то якщо для експлуатованого устаткування зводиться до

$$\min_{\tau} C(\tau) = C(\tau^*). \quad (18)$$

Тоді з (16) запишемо наступний вираз для функції мети:

$$\begin{aligned}
 C(\tau) = & \left\{ a_{np} \tau_{cp}^{-np} + a_{AP} \tau_{cp}^{AP} \times \right. \\
 & \times \left[\Lambda\left(\tau + \tau_{cp}^{-np}\right) + \Lambda(\tau) + \Lambda\left(2\tau + \tau_{cp}^{-np}\right) \right] \Bigg\} \times \\
 & \times \left\{ \tau - \tau_{cp}^{AP} \cdot \left[\Lambda(\tau) + \Lambda\left(2\tau + \tau_{cp}^{-np}\right) + \right. \right. \\
 & \left. \left. + \tau_{cp}^{AP} \int_0^{\tau} \lambda(t) \lambda(\tau + \tau_{cp}^{np} + t) dt \right] \right\}^{-1}. \quad (19)
 \end{aligned}$$

Рівняння для визначення локальних екстремумів показника якості обслуговування в розглянутій системі визначиться з умови $\frac{dC(\tau)}{d\tau}$.

$$\begin{aligned}
 2\lambda\left(2\tau + \tau_{cp}^{-np}\right) \Bigg\{ \tau - \tau_{cp}^{AP} \left[\int_0^{\tau} \lambda(t) dt + \int_0^{\tau} \lambda\left(\tau + \tau_{cp}^{-np} + t\right) dt - \right. \\
 \left. - \tau_{cp}^{AP} \int_0^{\tau} \lambda(t) \lambda\left(\tau + \tau_{cp}^{-np} + t\right) dt \right] \Bigg\} \times \\
 \times \left\{ 1 - \tau_{cp}^{AP} \left[\lambda(\tau) - \lambda\left(2\tau + \tau_{cp}^{-np}\right) + 2\lambda\left(2\tau + \tau_{cp}^{-np}\right) - \right. \right. \\
 \left. \left. - \tau_{cp}^{AP} \left[2\lambda(\tau) \lambda\left(2\tau + \tau_{cp}^{-np}\right) - \lambda(\tau) \lambda\left(\tau + \tau_{cp}^{-np}\right) + \right. \right. \right. \\
 \left. \left. \left. + \lambda'(\tau) \int_0^{\tau} \lambda\left(\tau + \tau_{cp}^{-np} + t\right) dt \right] \right] \right\}^{-1} - \\
 - \left[\int_0^{\tau} \lambda(t) dt + \int_0^{\tau_{cp}^{-np}} \lambda(\tau + t) dt + \int_0^{\tau} \lambda\left(\tau + \tau_{cp}^{-np} + t\right) dt \right] = \\
 = \frac{a_{np} \tau_{cp}^{-np}}{a_{AP} \tau_{cp}^{AP}}. \quad (20)
 \end{aligned}$$

Розв'язком (20) може бути безліч значень $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_i, \dots, \tau_m$, яким функція лівої частини $\psi(t)$ стає рівною значенням правої частини:

$$\frac{a_{np} \tau_{cp}^{-np}}{a_{AP} \tau_{cp}^{AP}} = const.$$

Оптимальні показники якості обслуговування обох об'єктів системи газопостачання - періодичність планових ремонтів і відповідне мінімальне значення середніх сумарних питомих витрат на експлуатацію - визначаються для значення $\tau_i = \tau^*$, при цьому досягається глобальний екстремум функції мети $C(\tau) \rightarrow C(\tau^*)$.

Якщо глобальний екстремум функції мети $C(\tau)$ досягається для значень аргументу $\tau^* = \infty$, це означає, що проведення планових ремонтів технологічного устаткування на експлуатованих об'єктах системи газопостачання

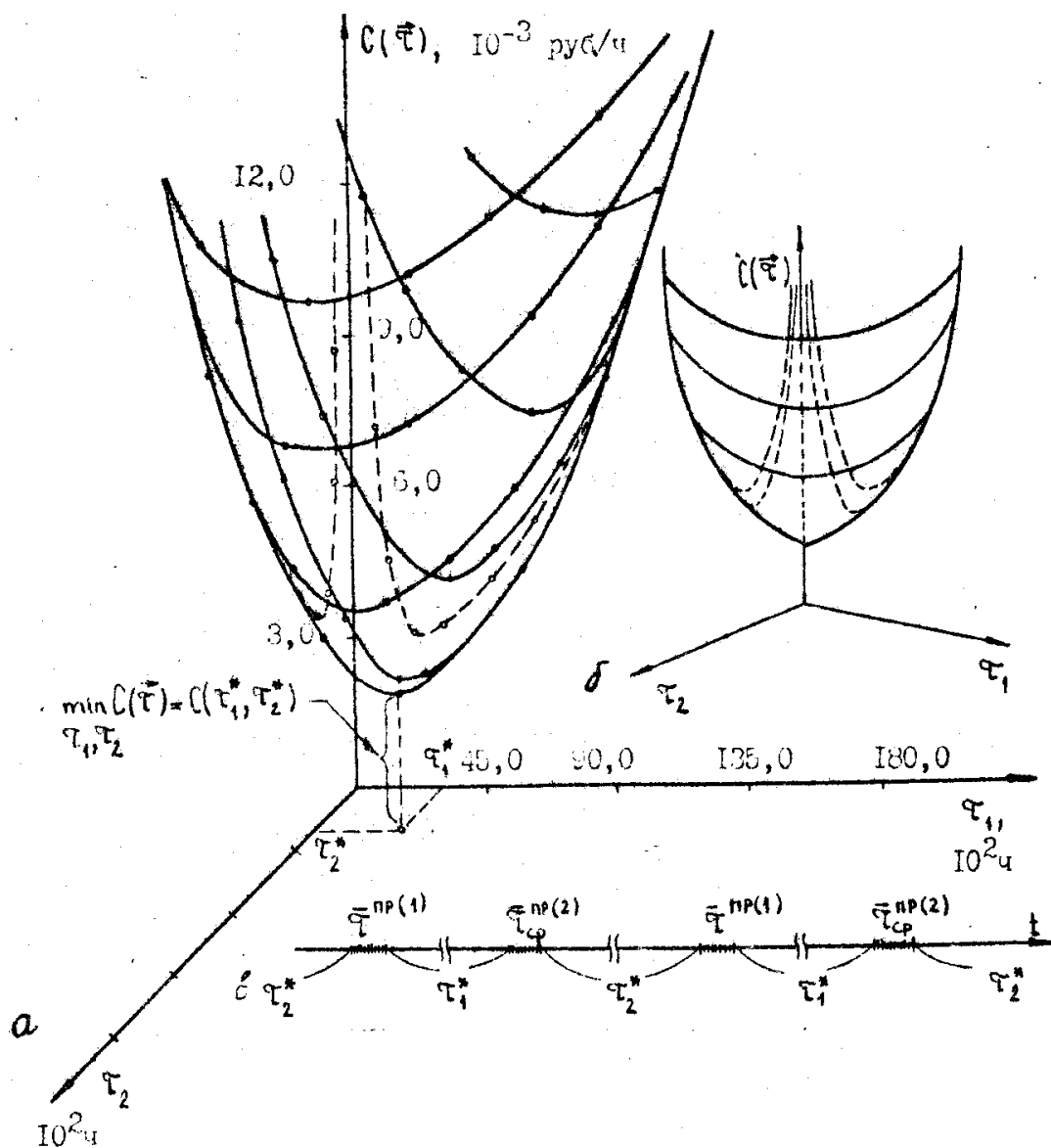


Рисунок 2 – Показники обслуговування і ремонту двох ГРС, розглянутих як єдиний комплекс

недоцільно. У цьому випадку розв’язок матиме вигляд:

$$C(\infty) = \frac{a_{AP} \tau_{cp}^{AP}}{\tau_{cp}}, \quad (21)$$

Оскільки система складається з двох незалежно функціонуючих підсистем, функція розподілу часу безвідмовної роботи системи в цілому $F(x)$, необхідна для визначення τ_{cp} у (21), визначиться як

$$F(x) = F_1(x) * F_2(x), \quad (22)$$

тобто є композицією функцій розподілів часу безвідмовної роботи обох об’єктів обслуговування системи.

Оскільки в даному випадку розглядаються однакові об’єкти обслуговування, то

$$F(x) = \int_0^{\infty} f(x-z)f(z)dx, \quad (23)$$

де $f(t)$ - щільність розподілу часу безвідмовної роботи кожної з підсистем; $f(t) = dF_i(t)/dt, i = 1, 2$.

На рис. 2 зображено графік функції середніх сумарних питомих витрат $C(\bar{\tau})$ на обслуговування і ремонт двох однакових ГРС, розглянутих як єдиний комплекс.

Слід зазначити, що показник середніх сумарних питомих витрат на експлуатацію виробується в середні питомі втрати.

Як бачимо, імовірність перебування системи в стані аварійної відмови одночасно двох об’єктів обслуговування і зв’язані з ними втрати – значення C_3 – дуже малі щодо інших станів і втрат, що викликаються їхньою реалізацією. Ця обставина є визначальною для розглянутих об’єктів системи газопостачання, що володіють високою працездатністю. Аналіз процесу обслуговування системи газопостачання, що включає різні за чисельністю і характеристиках

ГРС і ГРП, не змінює це уявлення про відносне кількісне співвідношення втрат $C_1 - C_5$.

Аналізовані стратегії обслуговування й отримані залежності дають змогу розраховувати оптимальні показники процесу обслуговування і ремонту основного устаткування системи газопостачання в рамках кожної зі стратегій - календарна періодичність τ^* , наробіток θ^* стан K^* до планових попереджувальних ремонтів, а також відповідні екстремальні значення показника якості обслуговування і ремонту $C(\tau^*)$, $C(\theta^*)$ чи $C(K^*)$. У практиці експлуатації систем газопостачання через різні причини іноді виникають проблеми, пов'язані з дотриманням оптимальних графіків планових ремонтів. Тому доцільно враховувати й оцінювати можливості і наслідки переносу чергового планового профілактичного ремонту. При цьому виникають дві типові ситуації.

1. Дострокове проведення профілактичного ремонту бажано в тому випадку, якщо виникає відмова експлуатованого устаткування, оптимальний термін якого наблизився до значень τ^* , θ^* або K^* . Іноді доцільно не тільки усунути виниклу відмову, але і провести позачергові регламентні роботи

2. Відтягування терміну початку планових попереджувальних заходів, коли до оптимального моменту τ^* , θ^* або K^* не існує достатніх умов для їхнього проведення: відсутні резервне устаткування, чи за частини достатня оперативна готовність ремонтних бригад або виникали різні розуміння оперативно-управлінського характеру.

У практиці експлуатації систем газопостачання профілактичні допуски для різного типу устаткування і різних експлуатаційних умов визначаються на підставі виробничого досвіду обслуговуючого персоналу. У теоретичних і прикладних дослідженнях організації ремонтного обслуговування устаткування систем газопостачання профілактичні допуски задаються заздалегідь. Значення Δ_1 і Δ_2 можна вибирати в границях 10...15% відповідних номінальних розрахункових чи нормативних значень.

Література

- 1 Грудз В.Я. Обслуживание газотранспортных систем / В.Я. Грудз, Д.Ф. Тымкив, Е.И. Яковлев. – Киев: УМК ВО, 1991 – 160 с.
- 2 Бразилович Е.Ю. Некоторые математические вопросы теории обслуживания сложных систем / Е.Ю. Бразилович, В.А. Каштанов. – М.: Сов.радио, 1971 – 122 с.
- 3 Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем / Н.П. Бусленко. – М.:Наука, 1978. – 421 с.
- 4 Керування режимами газотранспортних систем / В.Я.Грудз, М.Т.Лінчевський, В.Б.Михалків та ін. – К.: Укргазпроект, 1996. – 140 с.
- 5 Мазур И.И.Безопасность трубопроводных систем / И.И. Мазур, О.М. Иванцов. – М.: ИЦ «ЕЛИМА», 2004. – 1104 с.
- 6 Ornyak I.V., Lokhman I.V. The spring splines procedure with prescribed accuracy for determination of the curvatures of the pipeline based on the 3-D measurements of its position // Rio Pipeline Conference & Exposition 2011, IBP1029_11.
- 7 Fun Chen. New approach developed for estimating pour points of grucle oil blend /Fun Chen, Jinjun Zhang, Fan Zhang. // Oil S Gas Journal. – 2003. – №11. – p. 60-64.

Стаття надійшла до редакційної колегії
31.01.14

Рекомендована до друку
професором Середюк М.Д.
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)
д-ром техн. наук Банахевичем Ю.В.
(Управління МГ і ГРС ПАТ «Укртрансгаз»,
м. Київ)