

Розроблено метод ефективного інтегрованого керування газоперекачувальними агрегатами докачуючої компресорної станції підземного сховища газу, який дає змогу підвищити ефективність використання газотурбінного привода на докачуючих компресорних станціях і покращити їх характеристики. Крім цього, збільшується ресурс привода, підвищується безпека, покращуються газодинамічні характеристики газоперекачувальних агрегатів і зменшується кількість експлуатаційних регулювань.

1 Халявко М.П. Нафтогазовий комплекс України. Напрямки реалізації основних положень енергетичної стратегії до 2030 року // Хімічна промисловість України. – 2007. – № 2. – С.3-10.

2 Трегуб В.Г. Основи комп'ютерно-інтегрованого керування (інтегровані автоматизовані системи керування): Навч. посіб. – К.: НУХТ, 2005. – 191 с.

3 Продовиков С., Макаров А., Бунин В., Черников А. Опыт автоматизации сложных промышленных объектов на примере компрессорных станций. Системная интеграция // Нефтегазовая промышленность. – 1999. – № 2. – С.16-25.

4 Пат. 52128А Україна. Спосіб захисту компресора від помпажу / Гіренко С.Г., Спіченко Ю.М., Бобков В.Ю. – № 2002021583; Заявл. 26.022002. Опубл.16.12.2002; Бюл.№12.– 3 с.

УДК 621.438:622

ДІАГНОСТИКА СТАНУ ГАЗОПЕРЕКАЧУВАЛЬНИХ АГРЕГАТІВ В УМОВАХ КОМПРЕСОРНИХ СТАНЦІЙ

¹Р.М.Говдяк, ²В.Я.Грудз

¹ ВАТ “Укргазпроект”, 04050, м. Київ, вул. Артема, 77, тел. (044) 2447250, факс (044) 2447227, e-mail: ukrpro@i.kiev.ua

² ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 46067 e-mail: public@nung.edu.ua

Приведена методика определения остаточного ресурса газоперекачивающего агрегата по результатам его диагностики в условиях компрессорной станции

Here proposed methods of finding the final resources of gas-pumping aggregates by the results of its diagnosing on the compressor station.

Сучасні методи діагностики дають змогу визначити технічний стан складних енергетичних систем, таких як обладнання компресорних станцій та їх елементи. Оцінка технічного стану обладнання, у свою чергу, дає можливість прогнозувати залишковий ресурс агрегатів у процесі їх експлуатації.

Вирішення основного завдання експлуатаційного діагностування газоперекачувальних агрегатів, визначення їх працездатності та якості функціонування може бути втілене на основі аналізу параметрів, які характеризують працездатність агрегатів.

Запропонований метод прогнозування залишкового ресурсу устаткування ґрунтується на спостереженні в процесі експлуатації, а також на узагальненні низки статистичних параметрів експлуатації, відхилення яких можуть порушити встановлені норми експлуатації компресорної станції.

Результати вимірювань параметрів кожного агрегату використовують для побудови серед-

ньої кривої вимірювального параметра групи агрегатів залежно від напрацювання кожного з них. Отримані ламані криві характеру зміни вимірюваного параметра кожної машини можна виправити збільшенням періодичності вимірювань діагностичного параметра і будувати середню криву для групи досліджуваних агрегатів.

Зміна середньої кривої вимірюваного параметра в часі буде мати вигляд функції

$$P = S(a_1, a_2, \dots, a_n, t), \quad (1)$$

де: a_1, \dots, a_n – коефіцієнти моделі для кожного агрегату; t – напрацювання агрегату, год.

Критичне значення напрацювання пропонується визначити так. Для кожного агрегату встановлено критичне значення параметра або заводом-виробником, або досвідом експлуатації. Це означає, що кожний параметр має своє допустиме значення, яке відповідає нормальній роботі.

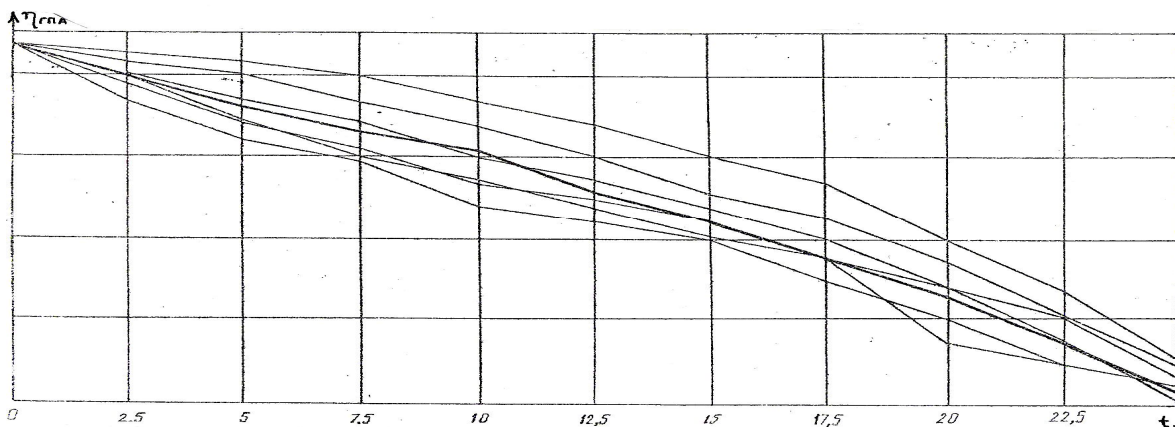


Рисунок 1 – Криві зміни ефективного ККД групи ГПА залежно від їх напрацювання (товста лінія – крива середніх значень ефективного ККД для групи ГПА)

Із заданої множини $S_{кр}$ для кожної кривої (агрегату) визначається критичне значення напрацювання $T_{кр}$. Для m різних агрегатів встановлено m різних значень $T_{кр} : T_{1кр}, T_{2кр}, \dots, T_{mкр}$.

Досвід експлуатації свідчить, що між розрахунковим значенням $T_{кр}$ та його статистичним вимірюванням є деякі відхилення, що вважається похибкою розрахунку, яку визначають так. Нехай для m агрегатів із загальної кількості N , які проходять випробування, до моменту τ було розраховано, що очікуване значення залишкового ресурсу одне і теж і дорівнює Δt , тобто $T_{кр} - \tau = \Delta t$. Надалі в процесі експлуатації для цих m агрегатів значення напрацювання до заміни склали $\Delta t_1, \Delta t_2, \dots, \Delta t_i, \Delta t_m$, тобто $T_m - \tau = \Delta t_m$. Тоді середня похибка розрахунку критичного значення напрацювання матиме вигляд

$$E(\tau, t) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m |\Delta t_i - \Delta t|. \quad (2)$$

Як впливає з (2), функція похибки зростає зі збільшенням значення Δt за встановленого τ .

Серед вимірювальних параметрів діагностики ГПА найбільш часто використовується для визначення технічного стану коефіцієнт корисної дії (ККД). Найбільш розповсюдженим є ефективний ККД.

Ефективний ККД можна визначити так:

$$\eta_{ов} = \frac{N}{3600H_0G},$$

де: N – потужність турбіни, кВт; G – витрата продуктів згоряння, кг/с; H_0 – теплоперепад на турбіні.

Метод побудови функції зміни ККД полягає ось у чому: у процесі експлуатації для різних напрацювань агрегатів необхідно встано-

вити різні значення ККД, розрахувати середнє значення $\eta_{ГПА}$ групи досліджуваних агрегатів для кожного напрацювання, побудувати статистичну криву зміни ККД $\eta_{ГПА}$ залежно від напрацювання, функція якої має параболічну форму:

$$\eta_{ГПА} = a_1 t^2 + a_2 t + \beta. \quad (3)$$

Вигляд функції (3), побудованої для умов (рис. 1), зображено на рис. 2.

Використання методики оцінки еквівалентності режимів за різних умов роботи агрегатів дає змогу встановити ресурс будь-якого агрегату, якщо відомі параметри експлуатації одного із них. Реалізується це ось як. Нехай в одних умовах роботи ГПА за його ресурсу t_1 ймовірність роботи без ремонту (або заміни), через досягнення критичного стану агрегату рівна $\varphi_{ГПА}(t_1, R_1)$. Якщо необхідно зберегти у відсотках ймовірність роботи без ремонту в інших умовах експлуатації агрегатів, то необхідно задовольнити рівняння:

$$\varphi_{ГПА}(t_1, R_1) = \varphi_{ГПА}(t_2, R_2).$$

Проте

$$\varphi_{ГПА}(t, R) = e^{-\int_0^t \lambda(t, R) dt}, \quad (4)$$

тоді

$$\int_0^{t_1} \lambda(t_1, R_1) dt = \int_0^{t_2} \lambda(t_2, R_2) dt. \quad (5)$$

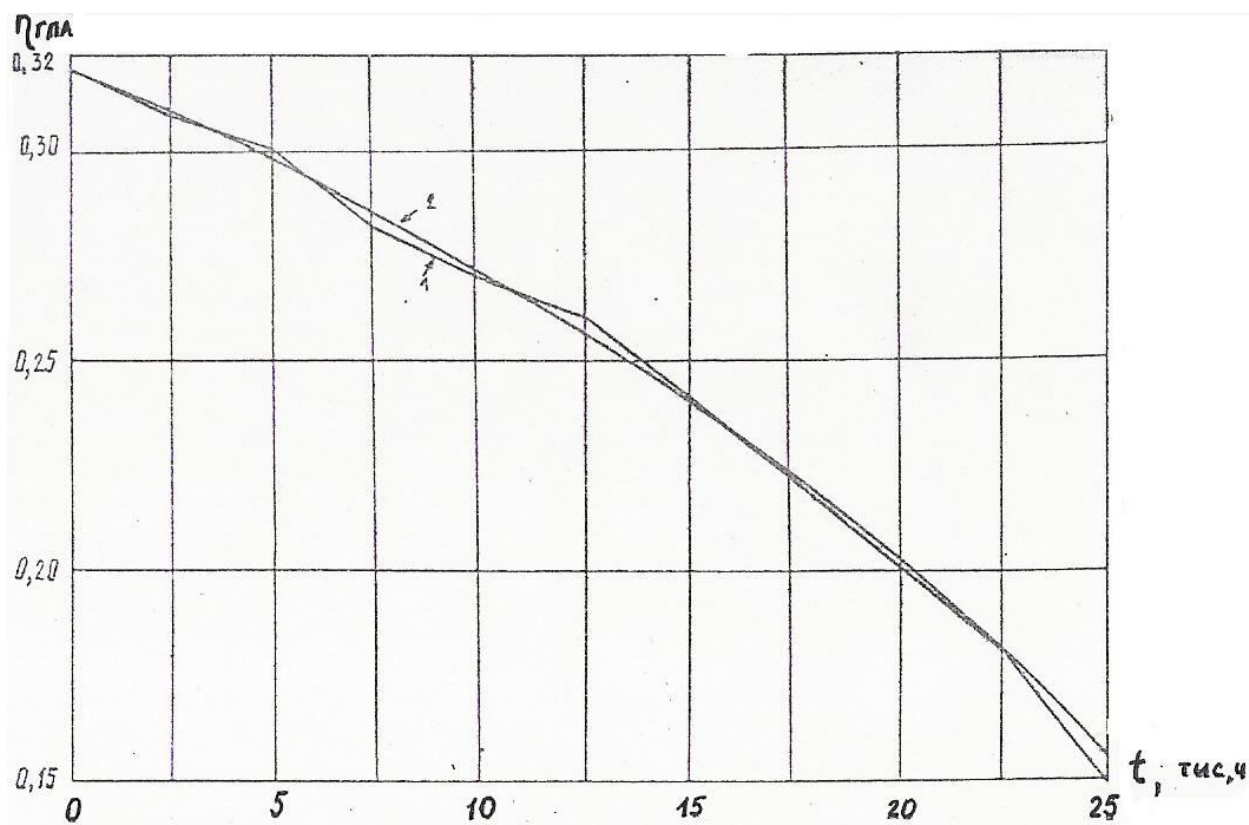
Вираз (5) означає рівність площин під кривими інтенсивностей відмов.

Відмінність площ під кривими $\lambda(t, R)$ пояснюється різницею умов роботи агрегатів на компресорних станціях, що знаходяться в різних кліматичних умовах.

Із (5) отримуємо:

$$\lambda_{cp}(R_1)t_1 = \lambda_{cp}(R_2)t_2, \quad (6)$$

де $\lambda_{cp}(R)$ – середнє значення інтенсивності відмов обладнання.



1 – за статистичними даними; 2 – розрахункова

Рисунок 2 – Функція зміни ККД

Тут визначається величина ресурсу t_2 в нових умовах експлуатації агрегатів за відомих даних $\lambda_{cp}(R_1), \lambda_{cp}(R_2)$ і t_1 .

Прогресивна форма диференціації ресурсу – експлуатація ГПА за технічним станом. За різних форм технічного обслуговування, заміни елементів і ремонти (включаючи капітальні) проводяться залежно від фізичного стану кожного агрегату. Ця форма експлуатації найбільш повно задовольняє умову (5), оскільки вона забезпечує максимальне використання агрегатів залежно від їх конструктивних можливостей. Відповідно, зі збільшенням величин ресурсу більшість агрегатів буде ремонтуватися раніше встановленого терміну з урахуванням їх фактичного стану.

Критичне значення ефективного ККД характеризує ненормальний стан агрегатів. Висновок про критичне значення ефективного ККД базується на певному ряді критеріїв (критерій забезпечення мінімуму витрат або критерій безпечної роботи).

Оптимальне критичне значення ефективного ККД визначається напрацюванням, за якого сума втрат вартості недовиконаного об'єму робіт буде вищою вартості сукупності замінених елементів C_S .

Функція прибутку, принесеного агрегатом, залежить від часу t , ступеня відновлення ефективного ККД і від характеру його зміни в наступний період експлуатації. У цьому випадку вона виражається із залежності:

$$C(t) = f(t, \lambda, C_S, V) \quad (7)$$

У випадку, коли враховується тільки заміна зношених елементів:

$$C(t) = f(C_S, t)$$

де C_S – вартість заміни елементів ГПА;

$$C_S = \sum C_{тур} + \sum C_{ок} + \sum C_{ксс} + \sum C_{вс}$$

де: $\sum C_{тур}, \sum C_{ок}, \sum C_{ксс}, \sum C_{вс}$ – загальна вартість заміни зношених елементів відповідно турбін високого і низького тиску, ОК, камери згоряння, допоміжних систем.

Прибуток, принесений агрегатом між двома сусідніми ремонтами (k і $k+1$), виражається так:

$$\int_{T_k}^{T_{k+1}} f(C_S^k) dt = C^k(\Delta t_i) \quad (8)$$

де: C_S^k – вартість ремонту (або заміни) за k -го ремонту;

$$\Delta t_i = T_{k+1} - T_k \text{ – час між ремонтами.}$$

Прибуток між ремонтами виражається також через ефективний ККД:

$$C^k(\Delta t_i) = \int_{T_k}^{T_{k+1}} f(\eta_{зна}^k, t) dt \quad (9)$$

де $C^k(\Delta t_k)$ – прибуток за k -им значенні ККД за формулою (8) або за (9).

Загальний прибуток, принесений агрегатом за весь міжремонтний цикл T_{MK} до капітально-го ремонту, визначається так:

$$M = \int_{T_0}^{T_{\Delta}} \pi(t) dt + \sum_{i=1}^{k+1} \left\{ \int_{T_k}^{T_{k+1}} f[\eta_{ГПА}(T_0)] dt - C_s^t \right\},$$

$$M = C^0(\Delta t_0) + \sum_{i=1}^{k+1} \left\{ C^t(\Delta t_i) - C_s^t \right\}$$

де: $C^0(\Delta t_0)$ – прибуток за нормальних значень ККД;

$$C^0(\Delta t_0) = \int_{T_0}^{T_{\Delta}} \pi(t) dt,$$

де: $\pi(t)$ – функція прибутку за нормальних значень; $\Delta t_0 = T_{\Delta} - T_0$ – період до першого ремонту.

Якщо відома функція швидкості прибутку $C(t)$ і вартість заміни (або ремонту) елементів вимірювального агрегату C_s , віднесена на період напрацювання t , то середній одиничний чистий прибуток

$$\xi(t) = \frac{1}{t} \left[\int_0^t c(t) dt - C_s \right].$$

Функція $\xi(t)$ буде максимальною за умови досягнення агрегатом свого критичного стану. Критичне напрацювання $T_{кр}$, відповідає критичному значенню ефективного ККД ($\eta_{ГПАкр}$).

Метод визначення залишкового ресурсу ГПА полягає у вимірюванні ефективного ККД конкретного агрегату з урахуванням його критичного стану і зміною його в минулому, а також характеру зміни, виявленої для всієї сукупності ідентичних агрегатів.

Метод можна використовувати за умови наявності повної інформації про середню зміну ККД групи однотипних агрегатів, а також про поведінку конкретного агрегату в минулому. Під час прогнозування використовується зміна ефективного ККД конкретного агрегату, який характеризується екстраполяційною функцією і середнім квадратичним відхиленням цієї функції від фактичної зміни ефективного ККД з урахуванням критичного стану агрегату $\eta_{ГПАкр}$.

Реалізація цього методу дає можливість отримати достовірний прогноз залишкового ресурсу і високий техніко-економічний ефект. Для цього спочатку необхідно побудувати середню функцію зміни ефективного ККД для групи однотипних спостережувальних агрегатів на основі середніх даних по критичному стану групи агрегатів, після чого встановлюють допустимі відхилення функції зміни ефективного ККД і його середнього значення для перерізу А-А.

Припустимі відхилення:

$$U_1 = \eta_{ГПА} - k\delta; U_2 = \eta_{ГПА} + k\delta, \quad (10)$$

де $\eta_{ГПА}$ – середнє квадратичне значення ККД у перерізі А-А.

Коефіцієнт

$$k = k_{\infty} \left(1 + \frac{\eta_v}{\sqrt{2m}} + \frac{\delta\eta_{v+10}^2}{12m} \right), \quad (11)$$

де: m – число досліджуваних агрегатів;

k_{∞} – визначається із рівняння

$$\Phi_0 = (k_{\infty} = \frac{P}{2}), \quad (12)$$

P – ймовірність знаходження функції в межах $U_1 \dots U_2$;

η_v – із рівняння

$$v - 0.5 = \Phi_0(\eta_v); \quad (13)$$

v – ймовірність своєчасного виконання першого діагностування;

$\Phi_0(k_{\infty})$ і $\Phi_0(\eta_{\infty})$ – функція Лапласа

$$\Phi_0(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{x^2}{2}} dx.$$

З (2) і (13) визначають $\Phi_0(k_{\infty})$ і $\Phi_0(\eta_{\infty})$.

Після чого знаходять k_{∞} і η_{∞} . Знаючи δ , m , k_{∞} і η_{∞} за формулою (11) розраховують k , а за (10) – значення U_1 і U_2 .

Далі для знайдених величин U_1 і U_2 будують відповідні криві (рис. 3) для декількох значень напрацювання, де проводять вимірювання (діагностику).

Послідовно, за критичних значень $\eta_{1кр} = \eta_{2кр} = \eta_{ГПАкр}$ визначають відповідні напрацювання $T_{1кр}$ і $T_{2кр}$ для кривих 1 і 2.

Абсолютне відхилення

$$\Delta t = T_{кр} - T_{1кр} = |T_{кр} - T_{2кр}|,$$

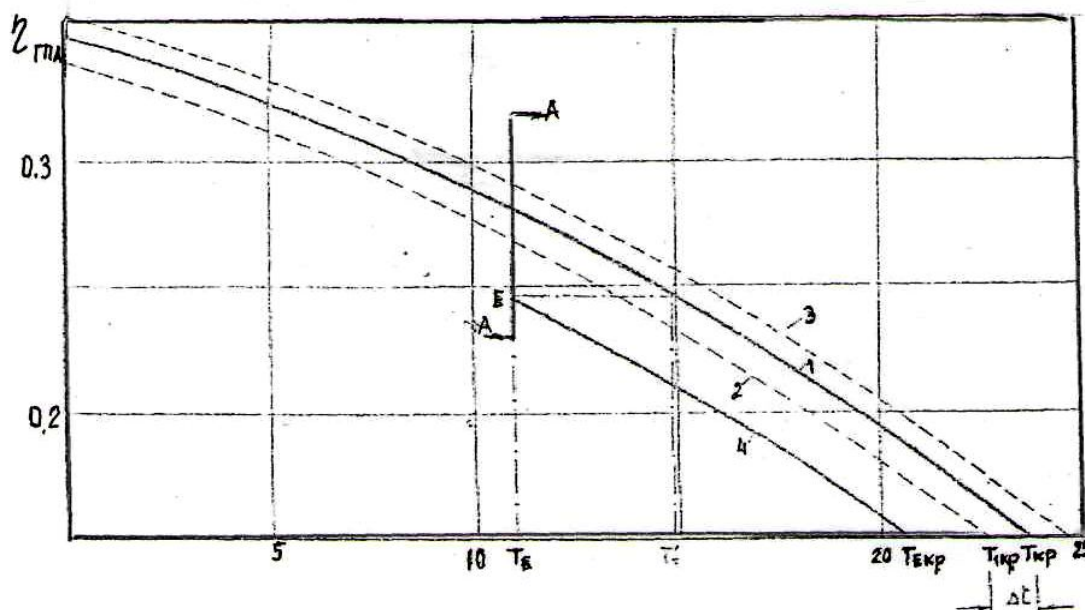
Відносне відхилення

$$\frac{\Delta t}{T_{кр}} \cdot 100\%$$

Для визначення залишкового ресурсу одного конкретного агрегату по його стану використовують графік (рис. 3). Для зміни через T_E годин роботи одного конкретного агрегату (точка Е) потрібно встановити ефективний ККД η_E , провести криву 4, паралельну криву середнього значення $\eta_{ГПА}$ (крива 3) до перерізу з абсцисою, що відповідає $\eta_{ГПАкр}$ і визначити $T_{Екр}$ за формулою (3) у випадку $\eta_{Екр} = \eta_{ГПАкр}$.

Допустиме відхилення T_E від значення $T_{Екр}$ може бути знайдене за відношенням

$$\frac{\Delta T_E}{T_E} = \frac{\Delta t}{T_{кр}},$$



1 – крива середніх значень ефективного ККД; 2, 3 – криві нижнього і верхнього відхилень від середніх значень ККД; 4 – крива зміни ефективного ККД агрегату;
 А-А – переріз, де визначаються відхилення від середнього значення

Рисунок 3 – Визначення залишкового ресурсу агрегату

звідки

$$\Delta T_E = \frac{T_E}{T_{кр}} (T_{кр} - T_{1кр})$$

Тоді значення залишкового ресурсу даного агрегату визначається так:

$$R_E = (T_{Екр} - T_E) \pm \Delta T_E, \quad (14)$$

$$R_E = (T_{кр} - T'_E) \pm \Delta T_{E'}$$

де T'_E – напрацювання даного агрегату в точці E' , яка відповідає значенню η_E по середній зміні функції групи агрегатів $\eta_{ГПА}$ (див. рис. 3).

Вираз (14) зручно використовувати для розрахунку залишкового ресурсу. Це пояснюється тим, що на практиці для групи агрегатів значення $T_{кр}$ – стала величина, тому для розрахунку достатньо визначити T'_E для кожного конкретного спостережувального агрегату за методикою, викладеною в даній статті.