

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ РАСХОДОВ НА ПРЕДУПРЕДИТЕЛЬНЫЕ РЕМОНТЫ ПАРКА ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ

¹Б.В.Копей, ¹А.Беллаур, ²А.Бенмуна

¹ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 40534
e-mail: koreyb@nimg.edu.ua

² Лаборатория надежности нефтяного оборудования и материалов,
Факультет нефти, газа и химии, Университет М'амед Буггара – Бумердес, Алжир, 35000

Для того, щоб передбачити об'єм ремонтних робіт в процесі експлуатації певної кількості машин, розроблений практичний метод, що визначає кількість ремонтів у будь-який час впродовж планованого періоду. Метою методу прогнозування ГПА є визначення оптимального числа ремонтів, щорічно здійснюваних в інтервалі часу від t_1 до t_2 , з урахуванням кількості ГПА, що вже є на кінець цього періоду і машин, що знаходяться в процесі безперервного оновлення.

Ключові слова: ГПА, надійність, діагностика, ресурс, ремонт.

Для того, чтобы предсказать объем ремонтных работ в процессе эксплуатации определенного количества машин разработан практический метод, определяющий количество ремонтов в любое время на протяжении планируемого периода. Целью метода прогнозирования ГПА является определение оптимального числа ремонтов, ежегодно осуществляемых в интервале времени от t_1 до t_2 , с учетом количества уже имеющихся на конец этого периода ГПА, и машин, находящихся в процессе непрерывного обновления.

Ключевые слова: ГПА, надежность, диагностика, ресурс, ремонт.

In order to predict the volume of repair works in the process of exploitation of certain amount of machines a practical method determining the amount of repairs at any time during the planned period is developed. Determination of optimum number of the repairs annually carried out in a time domain from t_1 to t_2 is the purpose of method of the GPA prognostication, taking into account the amount of already present on the end of this period GPA, and machines being in the process of continuous update.

Keywords: gas pumping unit, reliability, diagnostics, resource, repair.

Актуальность проблемы. В газотранспортной сети Украины, являющейся наибольшей в Европе, в настоящее время пребывает в эксплуатации 78 компрессорных станций (КС) с 780 газоперекачивающими агрегатами (ГПА) двадцати типов. Около 20% парка ГПА уже отработали установленный ресурс, что вызывает необходимость оптимизации работ по их ремонту и техническому обслуживанию. Оптимизация системы, предназначенной для обеспечения ремонта и технического обслуживания парка ГПА, начинается с определения количества установок, объема и содержания ремонтных работ всего парка машин. Надежное прогнозирование спроса на возмещение ущерба, определения числа ремонтов и различных типов обслуживания для каждого типа установок возможно при правильном выборе возможностей базы обслуживания. Переоценка возможностей ремонтной базы является причиной бесполезных расходов и недоиспользования оборудования ремонтной базы. Наоборот, недооценка возможностей базы обслуживания приводит к снижению коэффициента технического использования машин и увеличению их принудительных остановок.

Анализ литературы по данной проблеме. В отечественной и зарубежной литературе [1-4] имеются данные по параметрам надежности и

рациональному плановому обслуживанию ГПА. В зарубежной литературе [1, 2] приводят отдельные данные по отказам машин, но они не систематизированы и нет конкретных рекомендаций по выбору оптимальных сроков ремонтов.

Выделение нерешенной части проблемы. При разработке стратегий технического обслуживания ГПА и оптимальных графиков планово-предупредительных ремонтов до настоящего времени не учитывалось фактическое изменение числа машин в парке и, соответственно, количество, объем и содержание ремонтных работ по всему парку машин.

Технико-экономическое обоснование разработки и постановка задачи исследований. Для того, чтобы предсказать объем ремонтных работ в процессе эксплуатации определенного количества машин, необходимо разработать практический метод, определяющий количество ремонтов в любое время на протяжении планируемого периода. Целью метода прогнозирования ГПА является определение оптимального числа ремонтов, ежегодно осуществляемых в интервале времени от t_1 до t_2 , с учетом количества уже имеющихся на конец этого периода, и машин, находящихся в процессе непрерывного обновления.

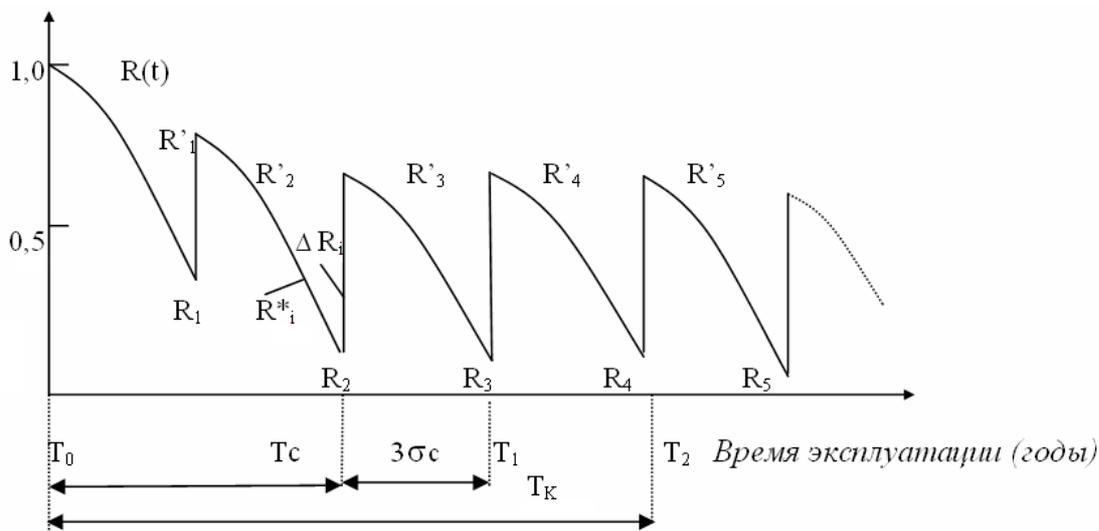


Рисунок 1 – Модель изменения технического состояния машин

Анализ известных методов определения количества ремонтов. Для определения количества ремонтов предлагались некоторые приближенные формулы, но они применимы лишь в следующих случаях:

- число машин в парке не изменяется;
- машины не заменяются после их износа;
- новые машины не покупаются;
- надежность машин поддерживается ремонтами.

На практике такие случаи никогда не были реализованы по следующим причинам:

а) в парк машин всегда поставляются новые машины, что увеличивает общее время работы до первого отказа на 40, 50 или 60% времени работы между отказами.

б) ежегодно часть используемых старых машин без ремонта заменяется новыми.

в) срок между предупредительными ремонтами и списанием машин не является фиксированной или регулируемой величиной, но средней величиной значения между продолжительностью их работы до первого ремонта; межремонтным периодом и общей продолжительности функционирования машины.

Этот фактор снижает вероятность реальной необходимости ремонта по сравнению с необходимостью ремонта, определяемой путем приближенных вычислений.

При проведении такого моделирования важно оценить следующие факторы:

1) Парк машин состоит из 2 частей: отремонтированных и неотремонтированных.

2) Необходимо делать различие между количеством недавно установленных машин и неоднократно отремонтированных (старых) машин.

3) Следует принимать во внимание:

а) факты обновления и списания машин в парке.

б) зависимость между продолжительностью работы до отказа и между отказами.

в) общую продолжительность работы и время эксплуатации парка машин, как системы,

а также средние значения параметров, цитируемых здесь.

4) Необходимо учитывать динамичную эволюцию парка машин путем введения критериев, основанных на математических методах обновления (рис. 1). Теория обновления [1,2] тесно связана с надежностью и теорией случайных процессов и устанавливает законы распределения отказов элементов в процессе их работы и методы их прогнозирования.

Целью метода прогнозирования является определение:

1) оптимального числа ремонтов, ежегодно осуществляемых в интервале времени от t_1 до t_2 .

2) количества имеющихся машин в парке к завершению этого периода, а также количества машин, пребывающих в процессе непрерывного обновления с интенсивностью $V(t)$.

Критерий оптимизации

Минимальная общая стоимость включает:

- расходы на приобретение новых машин;
- ремонтные расходы;
- эксплуатационные расходы.

Ограничения:

- надежность системы (не меньше необходимой);
- требуемый технический уровень;
- максимальный коэффициент готовности (в пределах технических ресурсов машины).

Особенности эксплуатации оборудования:

$t_{tr} = f(f(t))$ продолжительность функционирования до первого отказа;

$t_{br} = f(g(t))$ продолжительность работы между отказами;

$t_{1,t} = f(f_{1,t}(t))$ общая продолжительность работы.

В изучаемом процессе обновления распределения плотностей отказов $f(t)$ и $g(t)$ могут отличаться.

Информация, необходимая для расчета:

а) число поставляемых за год машин, которые приводятся в виде функции $V(t)$ или в табличной форме;

б) функция распределения плотности отказов во времени в предыдущем интервале продолжительности δ , а также в любой момент периода $\Delta = t_2 - t_1$.

в) вариации плотности распределения параметров $f(t)$, $g(t)$, продолжительности общей и годовой работы в течение всего периода t_k в зависимости от всего времени эксплуатации машин.

Формулы теории обновления машин, используемые в данном расчете:

$$h(t) = f(t) + \int_0^t g(t - \phi)h(\phi)d\phi$$

где

$$0 \leq \phi \leq t; \quad (1)$$

$$N(t) = n_0 Q_{l,t}(t) + \int_0^t V(t - \phi)Q_{l,t}(\phi)d\phi; \quad (2)$$

$$Q_{l,t}(t) = 1 - F_{l,t}(t); \quad (3)$$

$$N_{l,t}(t) = n_0 F_{l,t}(t) + \int_0^t V(t - \tau)F_{l,t}(\tau)d\tau; \quad (4)$$

$$H(t) = n_0 Q_{l,t}(t)h(t) + \int_0^t V(t - \tau)Q_{l,t}(\tau)h(\tau)d\tau; \quad (5)$$

$$N(t) = A_0 + \int_0^t [V(\tau) - V_{l,t}(\tau)]d\tau; \quad (6)$$

$$V_{l,t}(t) = f[N(t), t_{l,t}]. \quad (7)$$

Формулы позволяют получить:

(1) – плотность обновления или среднее число ремонтов (отказов) машин за единицу времени в момент t при $f(t) \neq g(t)$,

(2) – количество машин в системе на момент t , которое выражается функцией коэффициента готовности, где n_0 – количество машин на начало эксплуатации,

(3) – вероятность безотказной работы машины,

(4) – функция $N_{l,t}(t)$ (функция исчерпания ресурса), определяющая количество машин, полностью использовавших свои ресурсы на момент t в системе, где $F_{l,t}(t)$ – функция ресурса машины ($t_{l,t}$),

(5) – среднее число ремонтов машин на протяжении времени t (функция обновления или интенсивность ремонтов), где A_0 – число машин к началу t_0 ,

(6) – количество машин в системе с учетом числа машин к началу времени t_0 ,

(7) – $V_{l,t}(t)$ – интенсивность отказов.

Определение необходимого числа ремонтов с целью обеспечения коэффициента готовности машин реализуется как функция оптимальных величин (рис. 2):

$t_{1,t}$ – ресурса машины;

$t_{1,p}$ – продолжительности функционирования до первого профилактического ремонта;

t_{bp} – продолжительности работы между профилактическими ремонтами;

– коэффициентами вариации этих характеристик (значительно влияют на результаты расчета).

Чтобы обеспечивать эксплуатацию требуемого уровня парка, число машин должно достигнуть в момент времени t_1 величины A_1 ($A_1 > A_0$). Тогда

$$N(t_1) = A_1. \quad (8)$$

Количество запланированных в парке машин может быть достигнуто двумя различными путями:

1. Интенсивным приобретением новых машин, при этом продолжительность работы не поддерживается ремонтами;

2. Увеличением продолжительности работы, при этом сокращается число приобретаемых машин.

1-ый случай позволяет уменьшить число ремонтов и эксплуатационных расходов. При этом затраты на приобретение новых машин увеличиваются.

2-ой случай приводит к увеличению эксплуатационных расходов и затрат на обслуживание машин (из-за различия технических характеристик машин). Затраты C_s на приобретение новых машин увеличиваются прогрессивно. При этом наблюдается значительное уменьшение расходов на обслуживание в период эксплуатации, что объясняется увеличением продолжительности их ресурса.

В общем случае оптимизация периодичности ремонтов позволяет снизить к минимуму:

- расходы на приобретение новых машин;
- расходы на ремонты;
- расходы на эксплуатацию машин.

Исследуем степень влияния параметров надежности машин на частоту их ремонтов. Обозначим:

$f_f(t)$ – плотность распределения времени функционирования машины до первого отказа;

$g_f(t)$ – плотность распределения времени функционирования машины, побывавшей в ремонте хотя бы один раз;

$t_{t,f}, t_{b,f}$ – математическое ожидание этих двух параметров (среднее время до отказа и среднее время между отказами соответственно).

Функции $f_f(t)$ и $g_f(t)$ характеризуют безотказную работу до первого ремонта и между ремонтами соответственно и определяют техническую степень надежности машины. В случае отсутствия профилактического обслу-

Затраты эксплуатации

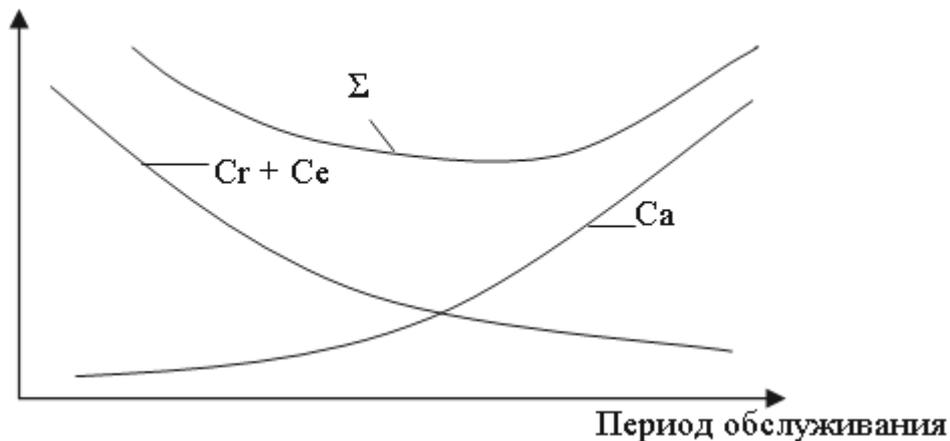


Рисунок 2 – Изменение стоимости обслуживания машин в зависимости от продолжительности их эксплуатации
(Минимум суммарной функции Σ расходов соответствует оптимальной продолжительности эксплуатации $t_{i,t}^*$).

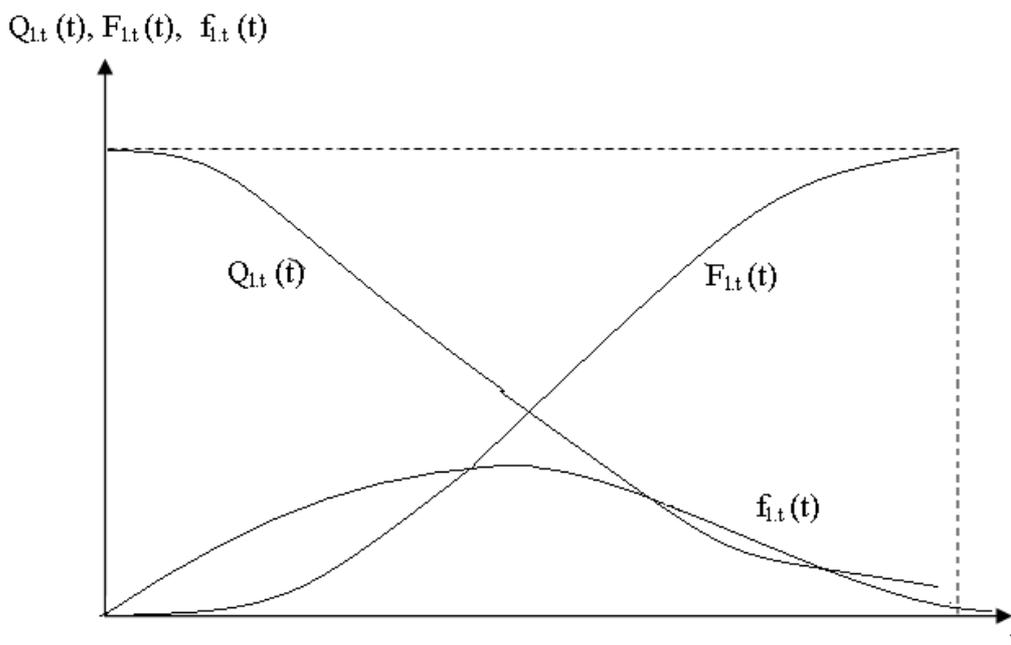


Рисунок 3 – График изменения параметров надежности машины во времени

живания это является характерным для нормального процесса изнашивания машины и интенсивность ремонта в любое время эксплуатации зависит от функций $f_f(t)$ и $g_f(t)$.

В случае применения определенной стратегии технического обслуживания, обозначим:

$f_p(t)$ – плотность распределения времени функционирования до первого профилактического ремонта;

$g_p(t)$ – плотность распределения времени функционирования между профилактическими ремонтами;

$t_{t,p}, t_{b,p}$ – математические ожидания обоих параметров.

Форма распределения величин $f_p(t)$ и $g_p(t)$ не изменяется при изменении нормализованных величин $t_{t,p}$ и $t_{b,p}$.

Периоды функционирования машин $t_{t,f}$ и $t_{t,p}$, для внеплановых ремонтов (так же, как $t_{b,f}$ и $t_{b,p}$ для плановых ремонтов), связаны с двумя парами распределений $[f_f(t); f_p(t)]$ и $[g_f(t); g_p(t)]$ (рис. 3). Тогда, для каждой пары распределения в любой момент времени t , можно определить плотность вероятности ремонта машин, которые имеют три возможных варианта:

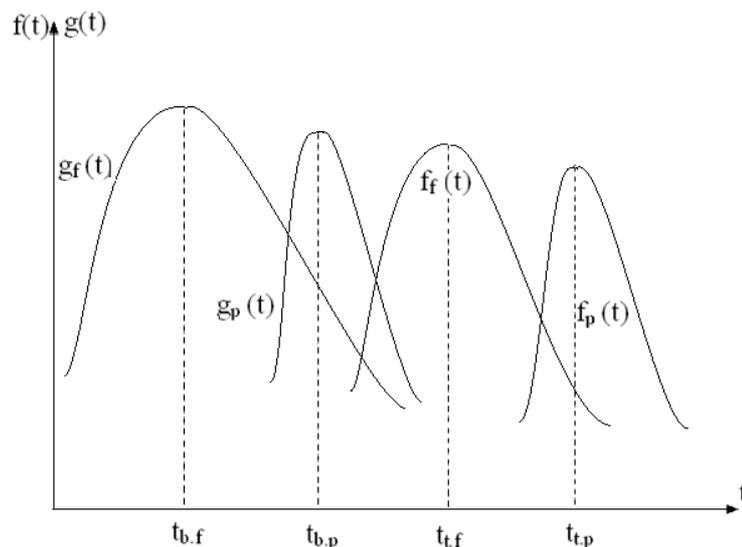


Рисунок 4 – Функции плотности отказов и времени выполнения профилактического ремонта

1-ый вариант: машина отказала, но время профилактического ремонта еще не наступило;

2-ой вариант: время профилактического ремонта наступило до отказа машины;

3-ий вариант: время ремонта совпадает с отказом.

Зависимость между интенсивностью ремонтов $H(t)$ и неизвестными величинами особенностей эксплуатации машины $t_{t.p}$ и $t_{b.p}$ для известных распределений времени функционирования без отказа (рис. 4) имеет вид

$$H(t) = (t, t_{t.f}; t_{b.p}; t_{t.p}; V(t)). \quad (9)$$

Для определения функции интенсивности ремонтов $H(t)$, необходимо сначала определить по формулам (2) и (5) плотность распределения времени функционирования машины до ремонта $f(t)$ и между ремонтами $g(t)$, основанную на:

1) функции распределения времени функционирования для незапланированных ремонтов $F_f(t)$ и $G_f(t)$; и планированных ремонтов $F_p(t)$ и $G_p(t)$;

2) данные величин этих коэффициентов изменения периодов $V_{t.p}$ (до ремонта) и $V_{b.p}$ (между ремонтами);

3) неизвестные величины математических ожиданий $t_{t.p}$ и $t_{b.p}$,

где

$$V_{t.p} = V_{b.p} = \frac{\sigma_{t.p}}{t_{t.p}} = \frac{\sigma_{b.p}}{t_{b.p}}, \quad (10)$$

здесь σ – среднеквадратическое отклонение.

Чтобы записать выражения $f(t)$ и $g(t)$, необходимо:

Задаться дискретными величинами математических ожиданий времени функционирования машины до первых профилактических ремонтов $t_{t.p_1}, t_{t.p_2}, \dots, t_{t.p_i}, \dots, t_{t.p_k}$. Каждая

величина $t_{t.p_k}$ соответствует величине $t_{b.p_i}$.

Предполагаем, что надежность эксплуатации в предремонтный период зависит от надежности машины между ремонтами.

Если распределения $f_f(t)$ и $g_f(t)$ изменяются по нормальному закону распределения с теми же величинами вариации коэффициентов между $t_{t.p}$ и $t_{b.p}$, можно записать их в более простой форме и охарактеризовать коэффициентом выполнения ремонта. Из (10) получаем:

$$\frac{t_{b.p_i}}{t_{t.p_i}} = \frac{t_{b.f}}{t_{t.f}} = q, \quad (11)$$

где q – коэффициент выполнения ремонта, $q = 0 \div 0,95$.

Например, для $t_{b.p} = 7200$ часов и $t_{t.p} = 1200$ часов $q = 0,6$.

По известным закону распределения $f_f(t)$ и $g_f(t)$ и коэффициенту изменения V можно определить пару функций распределения времени профилактического ремонта $F_{p_i}(t)$, $G_{p_i}(t)$ для каждой величины i ($i = 1, 2, 3, \dots, k$).

По известным функциям $G_f(t)$ и $F_{p_i}(t)$, $G_{p_i}(t)$ можно определить функции распределения продолжительности функционирования машины до первого ремонта $F(t)$ и между ремонтами $g(t)$ следующим образом:

$$F(t) = \underbrace{[1 - F_f(t)]F_p(t)}_{F_1(t)} + \underbrace{[1 - F_p(t)]F_f(t)}_{F_2(t)} + \underbrace{F_f(t)F_p(t)}_{F_3(t)} \quad (12)$$

где $F_1(t)$ – вероятность того, что на протяжении t не произойдет ни одного отказа и машина не будет нуждаться в профилактическом ремонте;

$F_2(t)$ – вероятность, что в течение времени t отказ будет иметь место, но машина не будет нуждаться в профилактическом ремонте;

$F_3(t)$ – вероятность, что в течение времени t произойдет отказ и будет выполнен профилактический ремонт машины.

При этом распределение плотности $F(t)$ можно записать в виде:

$$f(t) = [1 - F_f(t)]f_p(t) + [1 - F_p(t)]f_f(t). \quad (13)$$

Мы можем определить таким же образом $G(t)$ и $g(t)$.

$$g(t) = [1 - G_f(t)]g_p(t) + [1 - G_p(t)]g_f(t). \quad (14)$$

Для расчета интенсивности ремонтов $H(t)$ необходимо включить формулы (13) и (14) в (5) для каждой величины i $t_{t.p_i}$ и $t_{b.p_i}$ или $t_{t.p_i}$ и q_i .

Интенсивность $H(t)$ зависит как от величин $t_{l,t}$ продолжительности работы и функции приобретения $V(t)$ (см. формулу 9). Эти величины рассматривают как важные факторы, влияющие на стоимость эксплуатации машин, именно поэтому величины тесно связаны с расходами на каждый тип ремонта.

Экономические показатели

1) Функция затрат

$$D = \Phi(C_r, C_e, C_a), \quad (15)$$

где:

C_r – расходы на ремонт машин;

C_e – текущие расходы на эксплуатацию;

C_a – стоимость приобретения новых машин.

2) Стоимость капитального ремонта (К.Р) машины в функции качества ремонта может быть записана:

$$Sr_j = Sr(q_j), \quad j = 1, 2, \dots, m. \quad (16)$$

3) Общая стоимость ремонтов машин, введенных в эксплуатацию в течение планового периода Δ :

$$Cr_{i,j}(V, t_{l,t}) = \int_{t_0}^{t_1} H_{i,j}(t) \cdot Sr_j \cdot e^{-\delta \cdot t} dt, \quad (17)$$

где: функция j – неизвестные варианты величин $t_{t.p}$ и q . Каждый из вариантов можно рассмотреть как математическую функцию ожидания $t_{l,t}$ и функцию приобретения (возобновления) $V(t)$.

Предложенный метод для определения числа и стоимости ремонтов состоит в оптимизации возобновления каждой группы элементов, имеющих то же самое распределение безотказной работы до первого отказа.

Текущие расходы эксплуатации и их интенсивность зависят от продолжительности эксплуатации и характера обслуживания.

4) Интенсивность текущих расходов $S_e(t)$ эксплуатации:

$$S_e(t) = f[N(t), V(t), t_{l,t}, t_{t.p}, t_{b.p}, q]. \quad (18)$$

5) Расходы эксплуатации:

$$C'_{e_j}(t, t_{l,t}, V) = \int_0^t S_{e_i,j}(\tau) V(\tau) e^{-\delta \cdot \tau} d\tau, \quad (19)$$

здесь:

$$S_{t_i,j}(t) = c(\alpha_1 + 2\alpha_2 t + 3\alpha_3 t^2). \quad (20)$$

6) Общее количество уменьшенных эксплуатационных расходов машин на протяжении всего планового периода может быть записано: (парк машин был возобновлен с момента времени t_0),

$$C_{e_{i,j}} = \int_{t_0}^{t_1} C'_{e_j}(t, t_{l,t}, V) dt. \quad (21)$$

7) Расходы возобновления (приобретения) машин:

$$C_a = C_n - C_0; \quad (22)$$

$$C_n = \int_{t_0}^{t_1} V(t) S_n(t) dt; \quad (23)$$

$$C_0 = \int_{t_0}^{t_1} V_c [N(t), t_{l,t}] S_0 [t_{l,t}, S_n(t)] dt, \quad (24)$$

где: C_n – стоимость приобретения машин, предназначенных для обновления парк в течение Δ ;

C_0 – остаточная стоимость всех машин.

Для точного расчета расходов обновления парка ГПА необходимо определить:
 $V(t)$ – интенсивность обновления машин;
 $S_n(t)$ – стоимость новой машины;
 $S_0(t)$ – остаточная стоимость;
 $V_{l,t}(t)$ – интенсивность списания машин.

8) Функция обновления:

$$V(t) = a + bt; \quad (25)$$

9) Изменение стоимости новой машины:

$$S_n(t) = S_{n_0} \cdot e^{-\gamma \cdot t}, \quad (26)$$

где: S_{n_0} – стоимость машины в настоящее время t_0 , γ – коэффициент нормального изнашивания.

Таблица 1 – Данные для расчета оптимизации обслуживания и ремонта ГПА

Обозначение	Величины	Исходные данные
A_1	250	Число машин на конец планового периода
$t_{1,t}$	20	Средняя продолжительность работы ГПА (лет)
V_0	0.2	Коэффициент изменения продолжительности работы $t_{1,t}$
V	0.2	Коэффициент изменения продолжительности срока службы (запланированной)
S_{no}	560000	Стоимость новой машины (USD)
C	28800	Начальная величина эксплуатации машины (USD)
λ	0.05	Коэффициент остаточной стоимости машины
γ	0.32	Коэффициент морального изнашивания
δ	0.11	Коэффициент затрат
d_1 d_2	0.73 0.07	Коэффициент остаточной стоимости машины
S_r	82000	
t_{tp}	2.5 годы	Математическое ожидание времени работы до предупредительного ремонта
σ_{tp}	0.5	Среднеквадратичное отклонение для t_{tp}
$t_{t,f}$	2.0	Математическое ожидание времени работы до первого отказа (лет)
$\sigma_{t,f}$	0.4	Среднеквадратичное отклонение для $t_{t,f}$
q	0.6	Коэффициенты качества ремонта
$t_{b,f}$	1.5	Математическое ожидание времени работы между отказами (лет)
σ_{bf}	0.3	Среднеквадратичное отклонение для $t_{b,f}$
t_{bp}	1.5	Математическое ожидание времени работы между ремонтами (лет)
σ_{bp}	0.3	Среднеквадратичное отклонение для t_{bp}

Таблица 2 – Результаты расчета

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
T_c , лет	18	20	22	18	20	22	18	20	22
T_m , лет	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
$\Sigma 10^6$, ед	95.02	83.7	74.7	63.0	59.4	56.9	116.4	110.5	106.4
$C_a 10^6$, ед	5.82	4.78	3.96	3.97	3.74	3.58	7.33	6.96	6.71
$C_r 10^6$, ед	38.7	37.5	36.4	25.6	24.16	23.1	47.3	44.9	43.25
$C_e 10^6$, ед	50.5	41.5	34.3	33.43	31.5	30.22	61.77	58.64	56.44
N , шт	376	337	307	569	449	365	763	560	423
$N_{1,t}$, шт	124	86	55	335	216	133	547	347	211
$H, 10^3$	1.16	1.09	1.03	3.09	2.87	2.71	5.02	4.65	4.38

10) Остаточная стоимость S_0 :

$$S_0(t) = (d_1 e^{-\lambda t_{1,t}} + d_2) S_n(t), \quad (27)$$

где: λ, d_1, d_2 – параметры исчисления; в зависимости от каждого специфического случая.

11) Интенсивность списания машин $V_{1,t}$:

$$V_{1,t}(t) = n_0 f_{1,t}(t) + \int_0^t V(t - \Phi) f_{1,t}(\Phi) d\Phi. \quad (28)$$

По известным функциям $V_{1,t}(t)$ и $S_0(t)$ можно определить общую остаточную стоимость всех машин, снятых эксплуатации на протяжении планового периода. После этого определим стоимость возобновления C_a .

12) Минимизированная суммарная функция расходов:

$$\Phi = C_a(V, t_{1,t}) + C_{r_{i,j}}(V, t_{1,t}) + C_e(V, t_{1,t}) \rightarrow \text{минимум}. \quad (29)$$

Для каждой комбинации характеристик $(t_{l,t}, q)$ минимум этой функции может быть найден для соответствующего выбора интенсивности $V = a + bt$ обновления и средней продолжительности работы $t_{l,t}$ при соблюдении условия $N(t_1) = A_1$.

Используя это условие, как и формулы, связывающие надежность функционирования $N(t)$ с фактом приобретения новых машин и интенсивности обновления, можно выразить интенсивность обновления через начальные условия A_0 и A_1 и продолжительность работы $t_{l,t}$.

$$V = V(A_0, A_1, T_{l,t}, t), \quad (30)$$

Заключение

Предложенный метод позволяет определить необходимый объем работ ремонтов во время эксплуатации оборудования парка машины, а также планировать закупку машин и оборудования, необходимого для поддержания этих машин (запасные части, ремонтные инструменты и т.д.).

Этот метод также позволяет:

- следить за развитием состояния парка машин;
- вмешаться в нужное время, чтобы сохранить надежность и пригодность производственного оборудования;
- минимизировать затраты на обслуживание.

Метод был испытан на парке ГПА с газотурбинным приводом.

1 Faure R. *Precis de recherche operationnelle*. Dunod, Paris 1975. – 446 pp.

2 Байхельт Ф. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход: Пер. с нем. / Ф.Байхельт, П.Франкен – М.: Радио и связь, 1988. – 392 с.: ил.

3 Надежность и эффективность в технике. Справочник в 10 т. / Под ред. Гнеденко В.В. – М.: Машиностроение, 1986-1989.

4 Проников А.С. Надежность машин / А.С. Проников – М.: Машиностроение, 1978. – 590 с.

Стаття поступила в редакційну колегію

06.07.09

Рекомендована до друку професором

Грудзом В.Я.