

Підприємство, господарство і право. - 2000. - № 3. - С. 61-63.

16 Економіка України та шляхи її подальшого реформування. Матеріали Всеукраїнської наради економістів, 14-15 вересня 1995 р. - К.: «Генеза», 1996. - 323 с.

17 Камлик М.І. Економічна безпека підприємницької діяльності. Економіко-правовий аспект: Навчальний посібник. - К.: Атака, 2005. - 432 с.

18 Любченко В., Файер Д. Экономическая безопасность Украины и приватизация. // Бизнес-информ. - 1997. - № 1. - С. 28-29.

19 Павловський М.А. Суспільство та економіка перехідного періоду: Шлях України. - К.: Техніка, 1997. - 152 с.

20 Стратегія і тактика антикризисного управління фірмою // Под ред. Градова А.П. - Санкт-Петербург.: Спеціальна література, 1996. - 510 с.

21 Украинский путь к рыночной экономике 1991 - 1995 // Под. Ред. Домбровского М. И Анчака Р. - Варшава.: CASE - Центр социально-экономических исследований, 1996. - 262 с.

22 Экономическая стратегия фирмы // Под ред. А.П.Градова. - СПб.: Спеціальна література, 1995.

---

---

***Вероніка Худолей***



## **ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ТЕРМІНІВ ПРОВЕДЕННЯ РЕМОНТНО - ПРОФІЛАКТИЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ НАФТОПРОМИСЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ**

При розробці і встановленні в кожному конкретному випадку циклів технічного обслуговування виходять з умови оптимальності використання обладнання. Критерієм ефективності використання нафтопромислового обладнання можуть слугувати відносні експлуатаційні втрати протягом заданого кінцевого інтервалу часу, які залежать від часу простою обладнання при планово-профілактичному технічному та позаплановому обслуговуванні за цей же період. У загальному вигляді завдання визначення оптимальної періодичності технічного обслуговування можна сформулювати наступним чином.

Для відновлювального нафтопромислового обладнання, що не резервується, із заданим законом розподілу часу безвідмовної роботи  $p(t)=P$  необхідно вибрати період проведення технічного обслуговування так, щоб в усталеному режимі роботи за заданих середніх значеннях часу проведення позапланового обслуговування та часу проведення технічного обслуговування відносні експлуатаційні втрати були мінімальними.

Вважається відомою імовірність  $P$  виникнення несправності, яка потребує виведення нафтопромислового обладнання  $i$ -го ( $i=$ ) типу на ремонт і середня тривалість  $T$  такого ремонту.

При перспективному дослідженні завдання оптимізації технічного обслуговування є завданням з обмеженою інформацією про надійність нафтопромислового обладнання, а саме, відомим є математичне очікування часу безвідмовної роботи, а конкретний вид функцій розподілу часу їх безвідмовної роботи невідомий. Згідно з роботами [1,2] у даній ситуації проведення планових попереджувальних профілактик не доцільне.

При дослідженні коротшого планового періоду може бути відомим конкретний вид функції розподілу часу безвідмовної роботи нафтопромислового обладнання  $i$ -го типу. В цьому випадку розрахунок періоду між плановими ремонтно - профілактичними обслуговуваннями нафтопромислового обладнання може здійснюватися наступним чином.

Припускаємо, що експлуатація нафтопромислового обладнання  $i$ -го типу починається у деякий момент  $t=0$  і у цей саме момент призначається проведення планової попереджувальної профілактики через час  $S$ . У загальному випадку  $S$

припускається випадковою величиною, розподіленою за законом  $G_i(x)=p(S_i(x))$ .

Якщо до моменту  $S$  нафтопромислове обладнання  $i$ -го типу не мало відмов у роботі, то у момент  $S$  починається планова попереджувальна профілактика, середня тривалість якої дорівнює  $T$ . Якщо до моменту  $S$  нафтопромислове обладнання  $i$ -го типу дало відмову у роботі, то передбачається миттєва індикація відмови і проведення позапланового аварійно - профілактичного ремонту, середній час проведення якого  $T$ .

Припускаємо, що після проведення відновлювальних робіт час безвідмовної роботи нафтопромислового обладнання  $i$ -го типу має завжди один і той же розподіл  $F(x)$ . Цей процес можна розглядати як деякий випадковий процес  $x(t)$ , що характеризує стан нафтопромислового обладнання у довільний момент часу  $t$ . Процес  $x(t)$  може набувати наступних значень:

\* якщо у момент  $t$  нафтопромислове обладнання перебуває у працездатному стані, то  $X=E$ ;

\* якщо у момент  $t$  проводиться позаплановий аварійно-профілактичний ремонт, то  $x(t)=E$ ;

\* якщо у момент  $t$  здійснюється планова профілактика, то  $x(t)=E$ .

У випадку, що розглядається, моменти закінчення відновлювальних робіт, тобто моменти переходу у стан  $E$ , є точками регенерації процесу  $x(t)$ . Інтервали часу між точками регенерації є незалежними, однаково розподіленими випадковими величинами і називаються циклами роботи системи, що розглядається.

Оптимізацію процесу обслуговування нафтопромислового обладнання  $i$ -го типу проводять за такими показниками якості функціонування технічних систем:  $K$  - коефіцієнт готовності,  $C$  - середні питомі витрати на одиницю часу роботи. Для спрощення запису у формулах індекс  $i$  опустимо.

Під коефіцієнтом готовності  $K$  розуміють відрізок часу, протягом якого система перебувала у працездатному стані при тривалій експлуатації. Цей коефіцієнт дозволяє враховувати той факт, що якість функціонування системи багаторазового використання тим вища, чим менший час простоїв даної системи у непрацездатному стані. Показник  $C$  використовується при необхідності вартісної оцінки експлуатації досліджуваної системи.

Для систем, функціонування яких описується регенеруючим процесом  $x(t)$ , дійсні такі співвідношення [3]:

$$K_2 = \frac{MX^{(0)}}{MX}; \quad C^* = \frac{\bar{C}}{MX^{(0)}},$$

де  $MX^{(0)}$  - середній час роботи між точками регенерації;

$\overline{MX}$  - середня тривалість періоду між точками регенерації;

$C$  - середні витрати між точками регенерації процесу  $x(t)$ .

Згідно з [3] для випадку, що розглядається максимум коефіцієнта готовності і мінімум середніх питомих витрат на одиницю часу безвідмовної роботи по усіх можливих функціях розподілу  $G(x)$  досягається на одній з вироджених функцій:

$$G(x) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } x \leq \tau, \\ 1, & \text{якщо } x > \tau, \end{cases}$$

Тому обчислення  $K$  і  $C$  може здійснюватись за такими формулами:

$$K_2(\tau) = \frac{\int_0^\tau \overline{F}(x) dx}{\int_0^\tau \overline{F}(x) dx + T_m + (T_{an} - T_m)F(\tau)}, \quad (1)$$

$$C^*(\tau) = \frac{(C_{an}T_{an} - C_mT_m)F(\tau) + C_mT_m}{\int_0^\tau \overline{F}(x) dx}, \quad (2),$$

де  $C_{an}$  - витрати на одиницю часу позапланового аварійного ремонту нафтопромислового обладнання;

$C_{nm}$  - витрати на одиницю часу при проведенні планового ремонтно-профілактичного обслуговування.

Оптимізація технічного обслуговування нафтопромислового обладнання полягає у виборі такого значення, яке максимізує значення функціоналу (1) і мінімізує значення функціоналу (2). Диференціюванням (1) і (2) з наступним прирівнюванням похідних до нуля отримуємо необхідні умови оптимуму виразів (1) і (2).

Згідно з [2] рівнянням для визначення локальних максимумів функції  $K()$  набуває вигляду:

$$\frac{T_{nm}}{T_{an} - T_{nm}} = -F(\tau) - \frac{\overline{F^1}(\tau)}{\overline{F}(\tau)} \int_0^\tau \overline{F}(x) dx,$$

а рівняння для визначення локальних мінімумів функції  $C^*(\tau)$  - вигляду:

$$\frac{C_{nm} T_{nm}}{C_{an} T_{an} - C_{nm} T_{nm}} = -F(\tau) - \frac{\overline{F^1}(\tau)}{\overline{F}(\tau)} \int_0^\tau \overline{F}(x) dx$$

Визначивши точку абсолютного максимуму серед точок локального максимуму функції  $K$ , можна визначити значення цього максимуму:

$$K_z(\tau^0) = \begin{cases} \frac{T_{cp}}{T_{cp} + T_{an}}, & \tau^0 = \infty, \\ \frac{1}{1 - (T_{an} - T_{nm}) \frac{\overline{F^1}(\tau^0)}{\overline{F}(\tau^0)}}, & \tau^0 \neq \infty \end{cases}$$

Якщо - точка, в якій досягається абсолютний мінімум функції (2), то

$$C^*(\tau^0) = \begin{cases} \frac{C_{an} T_{an}}{T_{cp}}, & \tau^0 = \infty, \\ - (C_{an} T_{an} - C_{nm} T_{nm}) \frac{\overline{F^1}(\tau^0)}{\overline{F}(\tau^0)}, & \tau^0 \neq \infty, \end{cases}$$

де  $T_{cp} = \int_0^\infty \overline{F}(x) dx$  середній час безвідмовної роботи системи.

У реальній ситуації, якщо конструкції і технічні засоби нафтопромислового обладнання розглядати як окремі технічні системи, можна помітити, що з часом ці системи старіють, а характеристики відмов після кожного проведеного ремонту змінюються.

Деякий технічний засіб чи певну групу таких засобів розглядаємо як деякий технічний блок нафтопромислового обладнання. Вважаємо, що вихід нафтопромислового обладнання з ладу може відбутися внаслідок виникнення несправності в одному з основних блоків устаткування. Характеристики відмов кожного блоку нафтопромислового обладнання змінюються після кожного повного ремонтно-профілактичного обслуговування.

Розглянемо деякий блок нафтопромислового обладнання. Нехай  $F$  - функція

розподілу часу до виникнення відмови за умови, що блок, який розглядається, уже піддався (j-1)-му повному ремонтно-профілактичному обслуговуванню. Вважаємо, що блок нафтопромислового обладнання підлягає заміні після (k-1)-го повного ремонтно-профілактичного обслуговування.

Інтервали часу між двома послідовними замінами блоку називають циклами. Ремонтно - профілактичні роботи для блоку, що пережив j (j=1, k-1) повних ремонтів (чи заміну, якщо j=k), проводяться у момент часу T. Якщо ж відмова настане до моменту T, то з імовірністю P (імовірність того, що відмова не може бути усунена за допомогою дрібного відновлювального ремонту) проводиться повне ремонтно - профілактичне обслуговування, а з імовірністю (1-P) - лише дрібний відновлювальний ремонт. Відмову, яка може бути усунута тільки з допомогою повного відновлювального ремонту, назвемо відмовою першого типу, а відмову, яка усувається за допомогою дрібного ремонту, відмовою другого типу.

Нехай F - функція розподілу, f - щільність розподілу, r -інтенсивність настання відмов i-го типу (i=1,2) через час t після останнього повного ремонтно - профілактичного обслуговування за умови, що таких ремонтів було вже j-1. Зазначимо, що

$$r_j^i(t) = \frac{F_j^i(t)}{F_j^i(t)}$$

де  $\overline{F}_j^i = 1 - F_j^i(t)$ .

Вважаємо, що для всіх j виконуються такі умови:

$r_j^1(t)$  монотонно зростає при  $t \rightarrow \infty$ ,

$r_{j+1}^1 \geq r_j^1(t)$  при  $t > 0$

$r_{j+1}^1(0) \geq r_j^1(0)$

$F_j^i(t) \leq F_{j+1}^i(t)$

Розглянемо деякі характеристики функціонування технічних систем багаторазового використання:

C(k, T) - середні витрати за одиницю часу;

A(k, T) - коефіцієнти готовності.

Визначаємо значення  $k^*$  і T, які оптимізують ці показники.

При розрахунку C(k, T) припускаємо, що час заміни чи відновлення блока нехтувно малий. Не враховуємо того факту, що відмова, яка виникла до моменту чергового планового ремонтно - технічного обслуговування, може бути відмовою першого типу. Подібне завдання розглядалося у роботі [4]. У даному більш загальному і характерному для технічних блоків нафтопромислового обладнання випадку показник C(k, T) набуде вигляду

$$C(k, T_j) = \frac{\left\{ (k-1)C_1 + C_2 + C_3 \sum_{j=1}^k \left\{ \int_0^{T_j} \sum_{n=1}^{\infty} F_j^{2(n)}(t) f_j^1(t) dt \right\} \right\}}{\sum_{j=1}^k \int_0^{T_j} \overline{F}_j^1(t) dt}, \quad (3),$$

де (k-1) - кількість повних ремонтно - профілактичних обслуговувань блока до заміни;

C - вартість повного ремонтно - профілактичного блока;

C - вартість заміни блока;

C - вартість дрібного відновлювального ремонту;

$$\sum_{j=1}^k \left\{ \int_0^{T_j} \sum_{n=1}^{\infty} F_j^{2(n)}(t) dt \right\}$$

- математичне очікування кількості дрібних відновлювальних ремонтів протягом одного циклу роботи блока нафтопромислового обладнання, який розглядається;

$\sum_{n=1}^{\infty} F_j^{2(n)}(t)$  - математичне очікування кількості дрібних відновлювальних ремонтів блока впродовж часу (о,t) t (Т за умови, що даний блок підлягав уже (j-1)-му повному ремонтно - профілактичному обслуговуванню:

$F_j^{2(n)} - n$  - кратна згортка функції  $F_j^2(t)$  ;

$\sum_{j=1}^k \int_0^{T_j} F_j(t) dt$  - середня тривалість одного циклу.

Необхідні умови мінімуму показника (3) можуть бути отримані диференціюванням по Т і прирівнюванням до нуля. В такому разі умови мінімуму показника  $C(k, T)$  записується у вигляді

$$\left. \begin{aligned} r_j^1(T_j) \sum_{n=1}^{\infty} F_j^{2(n)}(T_j) &= C(k, T_j) / C_3 \\ r_j^1(T_j) &= p \cdot \frac{(F_j(t))^1}{F(t)}, \quad 1 \leq j \leq k \end{aligned} \right\} (4)$$

Умови (4) еквівалентні таким співвідношенням:

$$r_j^1(T_j) \sum_{n=1}^{\infty} F_j^{2(n)}(T_j) = r_1^1(T_1) \sum_{n=1}^{\infty} F_1^{2(n)}(T_1), \quad j = \overline{1, k}$$

$$\sum_{j=1}^k \left\{ \int_0^{T_j} F_j^1(t) dt [r_1^1(T_1) \cdot \sum_{n=1}^{\infty} F_1^{2(n)}(T_1)] - \int_0^{T_j} \sum_{n=1}^{\infty} F_j^{2(n)}(t) f_j^1(t) dt \right\} = [C_1(k-1) + C_2] / C_3$$

Якщо час заміни і відтворення не можна вважати нехтувно малими, то як показник роботи блока нафтопромислового обладнання слід використовувати коефіцієнт готовності:

$$A(k, T_j) = \frac{\sum_{j=1}^k \int_0^{T_j} F_j^1(t) dt}{\left\{ (k-1)C_1 + C_2 + C_3 \sum_{j=1}^k \left[ \int_0^{T_j} \sum_{n=1}^{\infty} F_j^{2(n)}(t) f_j^1(t) dt \right] + \sum_{j=1}^k \int_0^{T_j} F_j^1(t) dt \right\}}$$

де С - середній час одного повного ремонтно-профілактичного обслуговування блока;

С - середній час заміни блока;

С - середній час дрібного відновлювального ремонту.

Задача максимізації коефіцієнта готовності еквівалентна задачі мінімізації  $C(k, T)$ .

Зазначений підхід до визначення оптимальних термінів проведення ремонтно - профілактичного обслуговування блоків нафтопромислового обладнання дозволяє врахувати їх поступове зношення.

#### Джерела та література:

- 1 Барзилович Е.Ю., Каштанов В.А. Организация обслуживания при ограниченной информации о надёжности системы. - М.: Сов. Радио, 1985. - 136 с.
- 2 Вопросы математической теории надёжности. / Е.Ю. Барзилович, Ю.К. Беляев, В.А. Каштанов и др. - М.: Радио и связь, 1983. - 376 с.
- 3 Барзилович Е.Ю., Каштанов В.А. Некоторые математические вопросы теории обслуживания сложных систем. - М.: Сов. Радио, 1981. - 272 с.
- 4 Nguyen D.G., Murthy D.N.P. Optimal preventive maintenance policies for repairable systems. - Oper. Res., 1981, vol. 29, № 6, p. 1181-1194.