

УДК 631.17.171

**Хітров І. О., к.т.н., доцент, Романюк В. І., к.т.н., доцент**  
(Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

## **РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ**

**У статті розкрито питання ресурсозбереження технічних об'єктів, при їх проектуванні, виготовленні, експлуатації і ремонті.**

**Ключові слова:** технічний об'єкт, технічний ресурс.

**Сучасний рівень науково-технічного прогресу** дозволяє створювати технічні об'єкти з високим рівнем надійності, яка вирішується на стадіях проектування, виготовлення, експлуатації і ремонту. Технічними об'єктами є вироби, технічні системи та її елементи, зокрема пристрої, прилади та їх частини, складальні одиниці та окремі деталі. Технічний об'єкт може виступати системою, або розглядатися як елемент під час вивчення об'єкта більшого масштабу. Наприклад, коробка передач трактора розглядається як система елементів (валів, підшипників, шестерень та ін.), але при оцінці ресурсних можливостей трактора в цілому вона вважається елементом системи.

**Значний внесок** у вирішенні питань підвищення ресурсозбереження деталей машин і елементів конструкцій з використанням різних технологічних методів їх виготовлення і відновлення внесли такі вчені як П.Г. Алексєєв, Б.М. Аскіназі, І.Л. Голего, С.Г. Гранкін, Б.І. Костецький, І.В. Крагельський, В.С. Малахов, А.А. Маталін, М.В. Молодик, Л.Г. Одінов, В.І. Похмурський, О.В. Рижов, М.І. Соболев, В.М. Ткачов, В.Т. Трошенко, М.І. Черновол, В.І. Черноіванов, А.В. Чичинадзе та інші.

**Проблема ресурсозбереження** безпосередньо пов'язана з проблемою підвищення якості машинобудівної продукції, основу якої становлять технічні об'єкти. Підвищення їх якості і споживчих властивостей виступає резервом з покращення використання та економії всіх видів ресурсів. Зв'язок ресурсозберігаючих властивостей з іншими властивостями продукції реалізується у формі вирішення протиріч між активними елементами процесів виробництва та експлуатації і обумовленою складністю конструкції.

**Дослідження ресурсозбереження технічних об'єктів** дозволить сформулювати необхідні знання щодо правильного підходу до постановки і вирішення проблеми ефективного використання технічного ресурсу.

су об'єктів при їх проектуванні, експлуатації та обслуговуванні на базових підприємствах галузі.

**Кожний технічний об'єкт** характеризується запасом можливого напрацювання – технічним ресурсом. Одиниці для вимірювання ресурсу вибирають відповідно до конкретної галузі і до кожного класу машин, агрегатів і конструкцій окремо. Він може вимірюватися в одиницях напрацювання (наробітку) і в одиницях календарного часу. Для автомобільного транспорту пробіг в кілометрах, для тракторів – в мотогодинах роботи, для технологічного обладнання – в годинах (змінах) роботи. Для інших машин використовується термін служби.

Початковий момент часу при обчисленні ресурсу вибирають по різному. На стадії проектування за початковий момент часу приймають момент введення об'єкта в експлуатацію (початок його функціонування). Для об'єктів, що знаходяться в експлуатації, в якості початкового можна вибрати момент останнього профілактичного заходу, або момент відновлення експлуатації після капітального ремонту.

Ресурс та термін служби хоча характеризуються одним граничним станом, проте мають певні відмінності. Наприклад, два двигуни з ресурсом 15 тис. мотогодин кожний та інтенсивністю експлуатації відповідно 3 тис. і 5 тис. мотогодин на рік будуть мати: перший – термін служби 5, другий – 3 роки.

Деталі машин за їх ресурсом можуть бути поділені на наступні чотири групи [1]:

1) деталі, ресурс яких неможливо або економічно недоцільно забезпечити рівним напрацюванню до капітального ремонту (фільтри, ущільнювачі, фрикційні накладки і т.д.); їх ресурс нижчий ресурсу до капітального ремонту, за ним визначають гарантійне напрацювання машини;

2) деталі, які працюють в напружених експлуатаційних умовах, однак раптовий вихід їх з ладу не впливає на безпеку (шестерні, підшипники, вали коробок передач і т.д.); їх ресурс визначає значення ресурсу до капітального ремонту;

3) деталі, вихід з ладу яких не загрожує безпеці, за їх ресурсом назначають значення ресурсу до повного списання;

4) деталі, вихід з ладу яких загрожує безпеці (гальмівна система, рульове керування і т.д.), їх ресурс повинен перевищувати ресурс до повного списання.

Відповідно до вимог технічного об'єкта, які дають змогу конкретизувати етапи або характер їх експлуатації, можуть назначати середній

ресурс до ремонту (середній ресурс від початку експлуатації об'єкта до його першого ремонту), середній ресурс між ремонтами (між суміжними ремонтами об'єкта), середній ресурс до списання (від початку експлуатації до його списання, обумовленого граничним станом) і призначений ресурс після досягнення якого, з міркувань безпеки або економічності, експлуатація припиняється незалежно від його стану.

Основним розрахунковим показником довговічності технічних об'єктів є гамма-відсотковий ресурс, який має або перевищує в середньому обумовлене число ( $\gamma$ ) відсотків виробів даного типу. Наприклад, при  $\gamma = 90\%$  відповідний ресурс називають 90%-им ресурсом. Якщо  $\gamma = 50\%$ , то це середній (медіанний) ресурс.

Для тракторів склалася практика нормування та оцінки ресурсу агрегатів за 80% ресурсом. Для виробів серійного і масового виробництва найчастіше застосовують 90%-й ресурс. Якщо відмова небезпечна для життя людей,  $\gamma$  ресурс наближають до 100% [1].

Гамма-відсотковий ресурс визначається експериментально за даними про довговічність великої групи об'єктів, як для нових, так і відновлених. Чим більше встановлена  $\gamma$ , тим менша тривалість випробувань. Проте для оцінки ресурсу з певною регламентованою точністю при зменшенні тривалості випробувань необхідно збільшити кількість об'єктів, що випробовують.

Важливим показником є коефіцієнт відновлення ресурсу, який дорівнює відношенню середнього ресурсу капітально відремонтованих об'єктів  $t_e$  до їх середнього ресурсу першого капітального ремонту (нових об'єктів)  $t_n$  [2]:

$$K_e = \frac{t_e}{t_n} \cdot 100\%; \quad K_{ep} = \frac{T_{mp}}{T_{dp}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де  $T_{mp}$ ,  $T_{dp}$  – відповідно міжремонтний і доремонтний ресурси технічних об'єктів.

В процесі експлуатації технічних об'єктів відбувається поступова зміна їх технічного стану. Досягнення технічними об'єктами граничного стану потребує їх ремонту з метою відновлення їх ресурсу. Обґрунтування і розрахунок граничного стану дозволяють повніше використати кожну деталь з мінімальними витратами ресурсів.

Рекомендується розглядати три критерії граничного стану деталей і споряджень (запропоновано Г.В. Веденяпіним): технічний, технологічний і економічний.

Критерії граничного стану рекомендується встановлювати залежно від впливу зносу деталі на роботу технічного об'єкта (машини, облад-

нання). При цьому розглядається три випадки.

В першому випадку в результаті зносу технічний об'єкт не може більше функціонувати, тобто є нероботоздатний. Наприклад, поломка колінчастого вала, поршневого кільця, заклинювання зубів шестерень і т.д.

В другому випадку знос призводить до попадання в зону інтенсивного виходу з ладу технічного об'єкта, його деталей. При цьому виникають удари, відбувається інтенсивний знос поверхонь, збільшуються вібрації, підвищується температура вузлів. Наприклад, спрацювання верхнього поршневого компресійного кільця, покритого електролітичним хромом, граничний знос настане після зняття шару хрому, що призведе до різкого інтенсивного зносу спраження.

В третьому випадку в результаті зносу характеристики технічного об'єкта виходять за допустимі або рекомендовані межі. Наприклад, при зносі деталей циліндро-поршневої групи двигуна змінюються потужність, питома витрата палива, підвищується витрата мастильного матеріалу. Двигун може продовжувати працювати, але як тільки стан його спражень буде відповідати максимально допустимим змінам його характеристики, цей стан стане граничним.

Граничний знос основних деталей часто встановлюють на основі практичних даних експлуатації і ремонту технічних об'єктів.

Для визначення напрацювання (ресурсу)  $t$  деталі необхідно мати криву зносу деталі залежно від напрацювання (рис. 1) і значення граничного зносу  $U_{zp}$ , оскільки

$$t = \frac{U_{zp}}{\beta}, \quad (2)$$

де  $\beta$  – випадкова функція, яка характеризується швидкістю зносу спраження.

Допустимий знос  $U_{don}$  (рис. 2) менший граничних  $U_{zp}$ , оскільки деталь не повинна вийти з ладу протягом наступного міжремонтного напрацювання  $t_1$ . За період міжремонтного напрацювання знос деталі збільшується на  $\beta \cdot t_1$ .

Тоді

$$U_{don} + \beta \cdot t_1 = U_{zp} \quad \text{або} \quad U_{don} = U_{zp} - \beta \cdot t_1. \quad (3)$$

Враховуючи, що  $tg \alpha = \beta = U_{don} / t_p$ ,  $t_p$  – напрацювання деталі в даний момент ремонту, отримаємо [2; 3]:

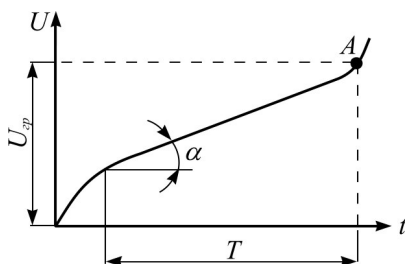


Рис. 1. Залежність зносу  $U$  від напрацювання  $T$  деталі

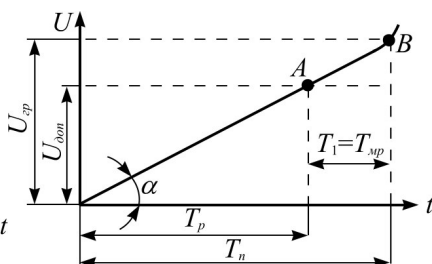


Рис. 2. Схема до розрахунку допустимого і граничного зносу деталі

$$U_{don} \left( 1 + \frac{t_1}{t_p} \right) = U_{zp} \quad \text{або} \quad U_{don} = \frac{U_{zp}}{1 + \frac{t_1}{t_p}} \quad (4)$$

Якщо від останнього ремонту даний періодичний ремонт, при якому проводиться дефектування деталей буде  $K$ , то  $t_p = K \cdot t_1$ . Тоді формула для розрахунку допустимого зносу набуде вигляду [2]

$$U_{don} = \frac{U_{zp}}{1 + \frac{t_1}{K \cdot t_1}} \quad \text{або} \quad U_{don} = \frac{K}{K + 1} U_{zp} \quad (5)$$

За значеннями  $U_{zp}$  можна визначити напрацювання  $t_p$  деталей, які замінюються при періодичному ремонті [2; 3]

$$t_p = \frac{K}{K + 1} \cdot \frac{U_{zp}}{\beta} \quad \text{або} \quad t_p = \frac{K}{K + 1} \cdot t_n \quad (6)$$

Експлуатація технічних об'єктів, наприклад, машин і обладнання суттєво залежить від їх взаємодії з навколишнім середовищем, а також характеру та інтенсивності умов роботи. Нормативні вимоги і технічні умови експлуатації накладають певні обмеження на параметри технічного стану. Хоча поведінка об'єкта носить випадковий характер, можна з достатньою імовірністю спрогнозувати залишковий ресурс роботи.

Залишковий ресурс деталі або спряження, вузла визначається як різниця між напрацюванням до граничного стану і напрацюванням в момент замірів за формулою [4]

$$t_{\text{зал}} = t \cdot \left[ \left( \frac{U_{\text{зр}}}{U(t)} \right)^{\frac{1}{\alpha}} - 1 \right], \quad (7)$$

де  $t$  – напрацювання машини з початку експлуатації або ремонту, під час якого здійснили заміну деталі, спряження;

$U_{\text{зр}}$  – граничний знос деталі, спряження або гранична зміна параметра (різниця між номінальною і граничною величинами параметра);

$U(t)$  – знос деталі, спряження за результатами замірів при напрацюванні або зміні параметра (різниця між виміряною величиною параметра при напрацюванні та його номінальною величиною);

$\alpha$  – показник степеня, який відображає характер зносу спряження або зміну параметра технічного стану (табл. 1).

Аналітичний вираз (7) для визначення залишкового ресурсу в загальному вигляді незручний для проведення розрахунків. Значно простіше використовувати номограми.

Спрогнозуємо залишковий ресурс технічних об'єктів шляхом отриманням необхідних даних за результатами діагностування (табл. 2) і наступним використанням номограми (рис. 3).

Таблиця 1

Орієнтовані значення показника  $\alpha$ , який відображає характер зносу спряження або зміну параметра технічного стану

| Параметр стану  | Орієнтоване значення $\alpha$ |
|---|-------------------------------|
| Потужність двигуна  | 1,1                           |
| Кількість газів, які прориваються в картер двигуна                        | 1,3                           |
| Угар картерного масла двигуна   | 2,0                           |
| Зазори в кривошипно-шатунному механізмі двигуна                           | 1,6                           |
| Знос шліців, вала   | 1,0                           |
| Знос валиків, пальців, осей   | 1,4                           |
| Радіальний зазор в підшипниках кочення і ковзання, зазор зубчатих передач | 1,5                           |

При використанні номограми враховується характеристика шкал. Верхня частина номограми. Вертикальна шкала зліва використовується для значень граничної величини параметра  $U_{\text{зр}} = P_n - P_n$  або зміни параметра до моменту другого контролю  $U'' = P'' - P'$ . Права верти-

кальна шкала є шкалою залишкового ресурсу  $t_{зал}$ . Горизонтальна шкала застосовується для визначення значень  $t_{зал}/t$  або  $R$  (випадок 2).

Нижня частина номограми. Кожну із шкал  $t_{зал}/t$  або  $K$  (випадок 2) застосовується при заданому значенні показника степені  $\alpha$  (значення показника дано біля шкали). За шкалою  $K - R$  (випадок 2) визначають значення показника  $R$  при відповідному значенні  $K$ .

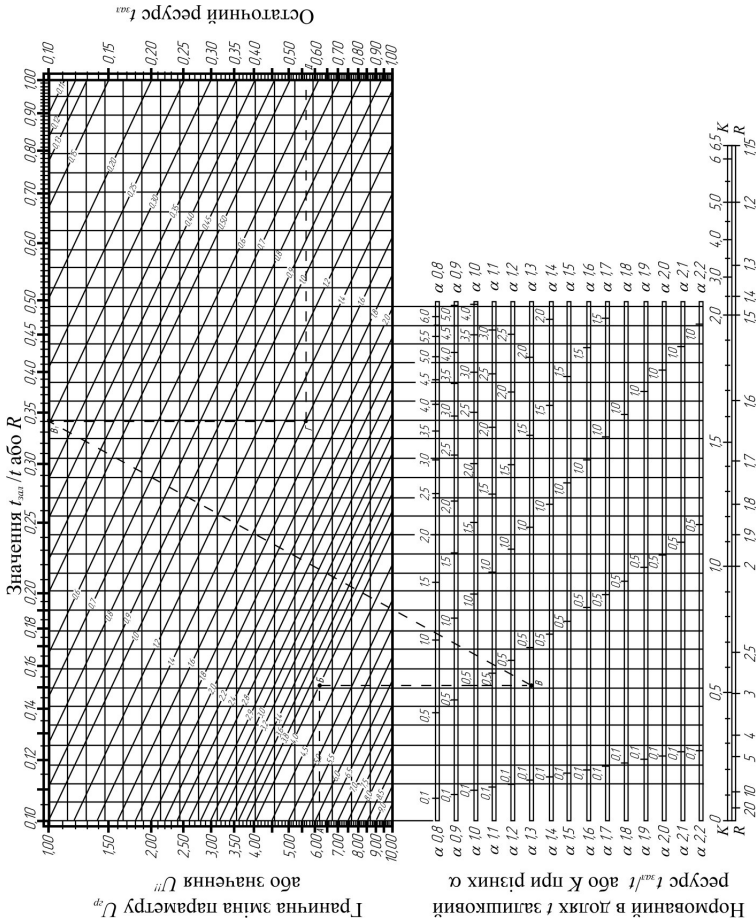


Рис. 3. Номограма для визначення залишкового ресурсу

Таблиця 2

Вихідні дані для прогнозування залишкового ресурсу  
технічних об'єктів (машин)

| Показники  | Позначення     |                | Джерело інформації                        |
|--|----------------|----------------|---|
|  | випа-<br>док 1 | випа-<br>док 2 |   |
| Значення параметра стану в момент контролю                   | $\Pi$          | $\Pi''$        | Покази діагностичного приладу             |
| Напрацювання машини:   |                |                |   |
| - з початку експлуатації, коли параметр мав значення $\Pi_n$ | $t$            | -              | Покази лічильника і технічна документація |
| - від попереднього контролю параметра                        | -              | $t'$           | Покази лічильника і технічна документація |
| Показник ступеня функції зміни параметра                     | $\alpha$       | $\alpha$       | Технічна документація                     |
| Номінальне значення параметра                                | $\Pi_n$        | $\Pi_n$        | Технічні умови                            |
| Граничне значення параметра                                  | $\Pi_n$        | $\Pi_n$        | Технічні умови                            |
| Значення параметра стану при попередньому контролі           | -              | $\Pi'$         | Карта попереднього контролю               |

При виконанні дій по номограмі застосовується одна і та ж одиниця вимірювання параметра (в сотих, десятих долях, десятках або сотнях) і напрацювання (в десятках, сотнях або тисячах) так, щоб вони відповідали порядку цифр на шкалах і лініях.

Наприклад, при граничній зміні параметра  $U_{ep} = 0,20$  мм і зміні параметра до моменту контролю  $U(t) = \Pi - \Pi_n = 0,15$  мм необхідно змінити два числа на один і той же порядок, прийнявши  $U_{ep} = 2$ ,  $U(t) = 1,5$ , з тим, щоб значення  $U_{ep} = 2$  можна було відмітити на верхній лівій шкалі номограми, яка має інтервал від 1 до 10.

В даній карті прогнозування залишкового ресурсу розглянуто для двох випадків.

Випадок 1. Відоме напрацювання з початку експлуатації, коли параметр стану елемента мав номінальне значення.

Випадок 2. Замість напрацювання з початку експлуатації відоме напрацювання від попереднього контролю.

Визначення залишкового ресурсу за допомогою номограми у випадку 1.



Послідовність визначення залишкового ресурсу  $t_{зал}U_{зр} \rightarrow U(t)$  (похилі лінії)  $\rightarrow t_{зал} / t$  (шкала для заданого  $\alpha$ )  $\rightarrow t$  (похилі лінії)  $\rightarrow t_{зал}$ .

Виконання дій по номограмі:

1. Вирахувати зміну параметра до моменту контролю  $U(t) = (П - П_n)$  (береться абсолютне значення без врахування знака) і граничну зміну параметра  $U_{зр} = (П_n - П_n)$ .

2. Відмітити на шкалі  $U_{зр}$  верхньої частини номограми значення  $U_{зр}$  (точка  $A$ ) в сотих, десятих долях, або десятках одиниць.

3. Провести горизонталь  $AB$  до похилої лінії, позначеної  $U(t)$  в тих же одиницях.

4. Опустити вертикаль  $BB$  в нижню частину номограми до шкали, яка позначена заданим значенням  $\alpha$ .

5. Визначити по шкалі числове значення, яке відповідає точці  $B$ , і перенести його значення на верхню шкалу верхньої частини номограми (точка  $B_1$ ).

6. Від точки  $B_1$  упустити вертикаль  $B_1\Gamma$  до похилої лінії, яка відмічена значенням напрацювання  $t$  в тисячах, сотнях або десятках одиниць напрацювання.

7. Від точки  $\Gamma$  провести горизонталь  $\Gamma D$  до шкали  $t_{зал}$ .

Значення, яке відповідає точці  $D$  і є шуканий залишковий ресурс в тих же одиницях напрацювання.

Визначення залишкового ресурсу за допомогою номограми у випадку 2. Напрацювання від початку експлуатації, коли параметр стану контрольованого елемента мав номінальне значення, невідомо. Прогнозування залишкового ресурсу приводиться за умови відомого значення параметра в момент попереднього контролю  $П'$  і відомого напрацювання  $t'$  від цього контролю.

Послідовність визначення залишкового ресурсу за номограмою:

а)  $U_{зр} \rightarrow U''$  (похилі лінії)  $\rightarrow t_{зал} / t$  (шкала для заданого  $\alpha$ )  $\rightarrow t_{зал} / t$  (верхня шкала  $\rightarrow t' /$  похилі лінії)  $\rightarrow t'_{зал}$ ;

б)  $U'' \rightarrow U'$  (похилі лінії)  $\rightarrow K$  (шкала для заданого  $\alpha$ )  $\rightarrow R$  (шкала  $K-R$ )  $\rightarrow R$  (верхня шкала)  $\rightarrow t'_{зал}$  (похилі лінії)  $\rightarrow t_{зал}$ .

Виконання дій по номограмі:

1. Вирахувати  $U_{зр} = (П_n - П_n)$ , а також зміну параметра до мо-

менту першого і другого контролю:  $U' = \Pi' - \Pi_H$ ;  $U'' = \Pi'' - \Pi_H$ .

2. Визначити значення  $t'_{зал}$  в послідовності, аналогічній послідовності визначення  $t_{зал}$  у випадку 1, але з використанням замість  $U(t) - U''$ , а замість  $t - t'$ .

3. Відмітити на шкалі  $U_{ep}$  або  $U''$  значення  $U''$ , провести горизонталь до похилої лінії, позначеної  $U'$ , потім опустити вертикаль в нижню частину номограми до шкали для заданого  $\alpha$ , по якому визначити значення коефіцієнта  $K$ . На найнижчій горизонтальній шкалі  $K-R$  визначити значення  $R$ , яке відповідає знайденому значенню  $K$ .

Перемножте раніше знайдені значення  $t'_{зал}$  і  $R$ . Добуток буде вихідним остаточним ресурсом. При використанні для перемноження номограми на верхній її шкалі відмітити один з множників, опустивши вертикаль до похилої лінії, яка позначена значенням другого множника, і провести горизонталь до осі  $t_{зал}$ . Знайдене значення  $t_{зал}$  є шуканий залишковий ресурс.

Тенденції економічного розвитку машинобудування направлені на підвищення потужності та енергонасиченості машин. Важливою економічною характеристикою технічного рівня об'єктів є досягнення ними запланованого рівня ресурсу.

Практика показує, що для більшості галузей назначений ресурс не досягає значень, оптимальних з економічної точки зору, крім того, характеризується значним розсіюванням показників довговічності окремих деталей і вузлів. Це пояснюється різними умовами експлуатації, якістю обслуговування, ремонту і збереження. Витрата металу на виробництво запасних частин для машин за їх нормативний термін служби, віднесений до конструктивної маси машини або агрегату, складає, %: для двигунів тракторів – 55-100, для шасі колісних тракторів – 5-28, для шасі гусеничних тракторів – 66-100 [1].

Збільшення ресурсу технічних об'єктів супроводжується економією засобів, матеріалів, енергії і трудових затрат. Так, збільшення ресурсу для певного парку машин в середньому на 10% еквівалентно приблизно 10% економії на виробництво нових машин або введенню відповідних нових виробничих потужностей.

Повна реалізація ресурсів машин неможлива без правильного планування та обгрунтованого призначення їх ремонту. Максимальний ефект ремонтних впливів досягається мінімальними матеріально-трудовими затратами з одночасним забезпеченням нормативних

показників надійності відремонтованих вузлів і машини в цілому.

Найзагальнішим і найповнішим критерієм техніко-економічної оцінки відновлених деталей є сумарні питомі витрати на відновлення та експлуатацію деталей, які визначаються цільовою функцією [2]

$$F(t) = [B + V(t)] \cdot t = \frac{B}{t} + \frac{V(t)}{t} \rightarrow \min, \quad (8)$$

де  $B$  – витрати на відновлення деталі;  $V(t)$  – експлуатаційні витрати.

Оптимальним є спосіб відновлення, при якому досягається найменше значення  $F(t)$ , а момент  $t_a$  відповідає оптимальному моменту відновлення деталі (рис. 4).

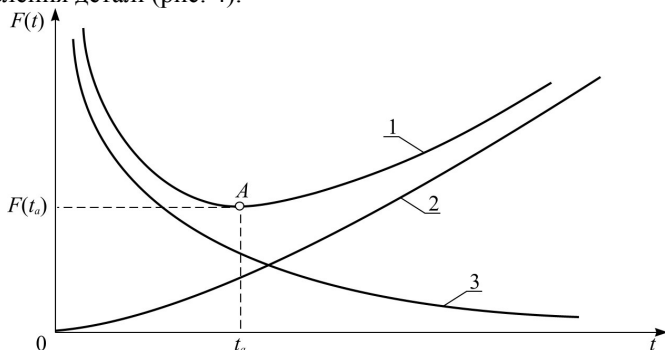


Рис. 4. Визначення оптимального моменту відновлення елементів машин:  
1 – сумарні затрати; 2 – витрати на експлуатацію; 3 – витрати на відновлення

**Таким чином,** заходи з підвищення ресурсу направлені на застосування нових матеріалів, конструктивних рішень і технологічних процесів, відповідного рівня технічного обслуговування і ремонту.

Додатковий захід отримання економічного ефекту полягає у індивідуальному прогнозуванні ресурсу, що дозволить правильно спланувати режими експлуатації, відповідні профілактичні заходи і постачання запасними частинами.

Успішне відпрацювання поставлених завдань дозволить провести ретельний аналіз отриманих результатів і визначити можливості їх використання в подальшій практичній діяльності.

1. Решетов Д. Н. Надежность машин / Решетов Д. Н., Иванов А. С., Фадеев В. З. – М. : Высш. шк., 1988. – 238 с.
2. Надійність сільськогосподарської техніки / [Гранкін С. Г., Малахов В. С., Черновол М. І., Черкун В. Ю.]; за ред. В. Ю. Черкуна. – К. : Урожай, 1998. – 208 с.
3. Ермолов Л. С. Основы надежности сельскохозяйственной техники / Ермолов Л. С., Кряжков В. М., Черкун В. Е. – М. : Колос, 1982. – 271 с.
4. Спичкин Г. В. Диагностика технического состояния ав-

томобилей / Спичкин Г. В., Третьяков А. М., Либин Б. Л. – М. : Высшая школа, 1975. – 304 с.

Рецензент: д.т.н., професор Кравець С. В. (НУВГП)

---

**Khitrov I. O., Candidate of Engineering, Associate Professor,  
Romanjuk V. I., Candidate of Engineering, Associate Professor**  
(National University of Water Management and Nature Resources Use,  
Rivne)

## **RESOURCE-SAVING OF TECHNICAL OBJECTS**

**Article is devoted to resource-saving of technical objects, at their design, production, operation and repair.**

**Keywords: technical object, technical resource.**

---

**Хитров И. А., к.т.н., доцент, Романюк В. И., к.т.н., доцент**  
(Национальный университет водного хозяйства и природопользования,  
г. Ровно)

## **РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**

**В статье рассмотрено вопрос ресурсосбережения технических объектов, при их проектировании, изготовлении, эксплуатации и ремонте.**

**Ключевые слова: технический объект, технический ресурс.**

---