

## АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ПЛАНУВАННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ТЕРМІНІВ СЛУЖБИ МАШИН І МЕХАНІЗМІВ В ОПЕРАЦІЙНОМУ МЕНЕДЖМЕНТІ

**Постановка проблеми.** Сучасні промислові й будівельні підприємства є складними комплексами, що включають велику кількість одиниць устаткування й техніки. Їх безперервна робота і відсутність позапланових простоїв має велике значення для ритмічної роботи та підвищення ефективності операційного управління. Для забезпечення мінімального ризику аварійних зупинок устаткування й техніки необхідний їх своєчасний ремонт, технічне обслуговування й заміна. Окрім того, не менш важливим аспектом ефективності є мінімізація експлуатаційних витрат.

Виникаюча суперечність між прагненням забезпечити максимальну надійність техніки і, водночас, знизити витрати на запасні частини та технічне обслуговування вимагає точного прогнозування терміну служби змінних елементів машин і устаткування в цілому; прогнозу ресурсу устаткування для раціонального планування термінів проведення ремонтів і створення достатніх запасів змінних вузлів і деталей, планування термінів заміни техніки.

**Аналіз останніх публікацій.** Визначення очікуваного ресурсу можливо за досвідом експлуатації ідентичного устаткування або розрахунковими методами, що враховують процеси, які приводять до відмови машин і механізмів. Ця проблема розкрита в роботах В.П. Анцупова, Ф. Байхельта, В.В. Болотіна, Н.П. Бусленко, Е.С. Вентцель, Б.В. Гнеденко, А.А. Гусакова, Ю.В. Жиркіна, Л.В. Коновалова, С.В. Репіна, Р.Б. Тяна та ін.

Проте, як правило, при плануванні ремонтів і заміни устаткування й машин в умовах підприємства комплексне використання накопиченого статистичного матеріалу і результатів аналітичних розрахунків ресурсу устаткування здійснити складно. Це викликано розрізненістю матеріалів, «паперовою» формою їх представлення (агрегатні журнали), а також відсутністю систематизованих і автоматизованих методик розрахунку. Крім того, при прийнятті рішення для заміни необхідно враховувати ряд ринкових факторів: умови володіння устаткуванням або машиною, зміну вартості техніки в часі.

Таким чином, існує необхідність створення в організації єдиного систематизованого банку даних, що включає комплекс відомостей про стан машин і

механізмів та їх елементів, з урахуванням ринкових факторів. Вирішення цієї проблеми дозволить забезпечувати прогнозування ресурсу устаткування з урахуванням особливостей роботи кожної конкретної машини, досвіду експлуатації й виробничої програми організації. Для цього необхідна концепція, що дозволяє створювати й ефективно використовувати бази даних, що включають як накопичену статистику відмов, так і аналітичні залежності для розрахунку очікуваного ресурсу.

**Постановка завдання.** Метою статті є аналіз методів визначення оптимальних термінів заміни машин і механізмів в операційному менеджменті організації та можливість їх використання в ринкових умовах.

**Результати.** Аналіз робіт з питання визначення економічно доцільних термінів служби машин і механізмів дозволив виявити методи визначення оптимальних термінів експлуатації техніки.

Для встановлення оптимального терміну служби машини з урахуванням фізичного зносу виявляють функціональну залежність середніх за весь термін служби приведених питомих витрат ( $P_{з.у}$ ) від величини граничного віку машини, який визначається терміном її служби ( $T$ ). Аналітично ця залежність може бути представлена таким чином:

$$P_{з.у} = \frac{A/T + P \times [1 + \alpha/2 \times (T-1)] + E \times [1 + \beta/2 \times (T-1)] + B + K \times E_n}{T \times [1 - \gamma/2 \times (T-1)]} \quad (1)$$

де  $A$  — вартість машини за відрахуванням ліквідаційної вартості, грн.;

$P$  — витрати на технічне обслуговування і всі види ремонтів, що доводяться на перший рік або на першу тисячу годин роботи нової машини, грн.;

$E$  — витрати на паливо або електроенергію, змащувальні або обтиральні матеріали за перший рік або першу тисячу годин роботи машини, грн.;

$B$  — витрати на експлуатацію машин, не залежні від терміну служби (заробітна платня робочих, які обслуговують устаткування, витрати на перебазування з об'єкту на об'єкт, знос і ремонт змінного оснащення та ін.), обчислені в середньому на рік або тисячу годин роботи машини, грн.;

$\Pi$  — вироблення машини за перший рік або першу тисячу годин її роботи;

$K$  — капітальні вкладення на придбання машини, які дорівнюють її розрахунково-інвентарній вартості, грн.;

$E_H$  — нормативний коефіцієнт ефективності;

$\alpha, \beta$  — відношення середньої величини приросту витрат відповідно на ремонт та енергію й матеріали за кожен подальший рік або подальшу тисячу годин роботи до величини витрат на ремонт ( $P$ ) або енергоресурси ( $E$ ) за перший рік або першу тисячу годин роботи;

$\gamma$  — відношення середньої величини зниження вироблення даної машини за кожен подальший період до величини вироблення ( $\Pi$ ) за перший рік або першу тисячу годин роботи.

Значення  $\alpha, \beta, \gamma$  можливо набути шляхом обробки методом кореляції великої кількості звітних даних за машинами різного віку. Потім, прирівнявши похідну ( $\Pi_{з.у.}$ ) по ( $T$ ), з одержаного виразу можливо визначити економічно доцільний термін експлуатації машини з урахуванням фізичного зносу ( $T_{э.ф.}$ ):

$$T_{э.ф.} = -D \times \gamma + \sqrt{D^2 \times \gamma^2 + D \times (2 + \gamma)} \quad (2)$$

де

$$D = \frac{A}{P \times \alpha + E \times \beta + (P + E + B + K \times E_H) \times \gamma} \quad (3)$$

Термін служби з урахуванням морального зносу визначають зіставленням приведених питомих витрат на певну машину і середніх приведених питомих витрат на весь парк аналогічних за призначенням і типом машин, виражених у функціональній залежності від ( $t$ ). Оптимальний термін служби машини з урахуванням морального зносу визначають за допомогою рівняння (4):

$$K_H \times K_M' = K_{CP}' \quad (4)$$

де  $K_H$  — відношення приведених питомих витрат, що одержуються за машиною в початковий період її серійного випуску, до середніх питомих витрат за існуючим парком будівельних машин аналогічного призначення;

$K_M'$  — відношення приведених питомих витрат,

що забезпечуються машиною на початку певного року, до таких же витрат на початку попереднього року;

$K_{CP}'$  — відношення приведених питомих середньогалузевих витрат на початку певного року, до таких же витрат на початку попереднього року. Визначається на основі аналізу за ряд років складу парку машин і його економічних показників в динаміці розрахункового періоду визначити ступінь щорічного зниження приведених питомих витрат, розрахованих як середньозважених за класом певних машин.

У момент часу, коли приведені питомі витрати на цю машину стануть рівними середнім приведеним питомим витратам у групі аналогічних машин у складі парку машин, починається моральний знос. Економічно доцільний термін експлуатації з урахуванням морального зносу визначають з рівняння (5):

$$t_M = \frac{\lg K_H}{\lg K_{CP}' - \lg K_M'} \quad (5)$$

Графічний метод визначення оптимального терміну служби машин і механізмів з урахуванням морального зносу полягає в тому, що точка перетину кривих, що характеризують зміну в часі середніх приведених питомих витрат і приведених питомих витрат за машиною, дає числове значення ( $t_M$ ).

Для визначення економічно доцільних термінів служби машин по мінімуму сумарної величини капітальних вкладень необхідно:

— визначити на перспективний період (10 — 20 років) за роками потребу в нових машинах на виконання планових додаткових обсягів робіт і заміну машин, що підлягають списанню, виходячи з наявного парку машин певного типу й темпів приросту обсягів робіт, що виконуються ними;

— визначити кількість машин, які повинні пройти через перший, капітальні і подальші ремонти, а також розмір витрат на організацію цих ремонтів, виходячи із загальної кількості машин, що знаходяться в експлуатації, (за роками) і тривалості міжремонтного циклу;

— визначити за роками потребу в матеріалах для проведення ремонтів різних видів при різних термінах служби техніки й відповідно витрати, пов'язані з цим;

— підсумовувати витрати на матеріали, організацію виробництва запасних частин, ремонтних підприємств при різних термінах служби й визначити, при якому терміні служби, що може бути виражений числом міжремонтних циклів, ці сумарні витрати будуть мінімальними.

Управління термінами служби машин в операційному менеджменті проводиться також з метою отримання заданих показників функціонування парку

техніки з урахуванням умов експлуатації і системи забезпечення його працездатності. Показники можуть бути пов'язані з надійністю (інтенсивність відмов, коефіцієнт готовності), а також техніко-економічними (обсяг випущеної продукції, витрати, прибуток, рентабельність).

У наслідок фізичного матеріального зносу вузлів і деталей машини перестають задовольняти вимогам, що надаються до певного агрегату.

Фізичний знос виникає і при експлуатації устаткування (знос першого роду), і просто з часом (знос другого роду).

Основною причиною фізичного зносу багатьох видів техніки є механічний знос її деталей, обумовлений силами тертя. Механічний знос залежить не тільки від конструкції і якості виконання машин, але і від їх технічного обслуговування. Для деталей машин, що працюють в умовах знакозмінного навантаження, важливе значення мають явища втоми, які можуть приводити до поломок.

Мірою фізичного зносу будь-якої деталі машини під впливом тертя може служити величина зношеного шару (у мкм) робочої поверхні цієї деталі. Тому при вивченні закономірностей фізичного зносу окремої деталі досліджують залежність цієї величини від тривалості експлуатації при зміні різних чинників (матеріалу деталі, зазору в з'єднанні, якості обробки поверхонь, роду мастила і т. п.).

Численні дослідження показали, що для фізичного зносу окремих деталей (вузлів) машин під впливом тертя характерні три послідовні стадії:

- а) інтенсивний знос в період приробки;
- б) повільніше наростання зносу в період нормальної роботи;
- в) прогресуюче наростання зносу після того, як він досягне певної величини.

Значно менше вивчені закономірності фізичного зносу деталей, руйнування яких відбувається не під впливом тертя, а з різних інших причин, наприклад, унаслідок втоми. Ще менше вивчені закономірності фізичного зносу машин в цілому. Це завдання є складнішим.

Знос машини призводить до появи несправностей вузлів і механізмів, до зниження потужності й продуктивності машини, витрати експлуатаційних матеріалів. Настає момент, коли подальша експлуатація машини стає економічно недоцільною. При достатньо великому фізичному зносі машина або взагалі перестає працювати, або з'являється небезпека аварії.

Несправності машин можуть бути видимими, такими, що відчуються.

Очевидні несправності звичайно виявляються на око навіть без пуску машини. До несправностей, що відчуються, належать вібрація машини й надмірне

нагрівання окремих частин. Чутні несправності (шум) виявляються прослуховуванням машини за допомогою спеціального стетоскопа. Причинами виникнення шуму можуть бути порушення в з'єднаннях деталей машин, знос підшипників, попадання чужорідного тіла, порушення режиму мастила.

Різні експлуатаційні якості машин можливо відновлювати шляхом своєчасно і правильно проведених ремонтів та технічного обслуговування. Вивчення законів зміни експлуатаційних параметрів техніки залежно від тривалості її роботи має важливе значення для визначення оптимальних термінів служби деталей і вузлів та встановлення термінів ремонту машин, приладів і апаратів.

До найважливіших характеристик машин, приладів і апаратів належить їх надійність.

Надійність характеризує безперервність і тривалість роботи машини без ремонту. Надійною вважається конструкція, що забезпечує безперебійну роботу машини протягом визначеного, досить тривалого терміну її експлуатації. Вірогідність виходу такої техніки з ладу протягом цього періоду часу дуже мала. Таке загальне визначення надійності потребує конкретизації стосовно різних умов роботи техніки. В одних випадках під надійністю машини розуміють стабільність її параметрів і мінімальне погіршення експлуатаційних характеристик за певний період часу, в інших випадках — відсутність раптових виходів з ладу при нормальній роботі за певний період часу. Необхідно знайти такі показники надійності машини, які відображали б частоту раптових виходів її з ладу і ступінь погіршення характеристик роботи машини в часі [1].

Одним з основних показників надійності є довговічність, під якою розуміють термін служби машини до граничного фізичного зносу. Довговічність машини потрібно відрізняти від терміну служби машини до чергового ремонту (поточного або капітального).

Довговічність слід відрізняти також і від повного терміну служби машини. Повний термін служби машини — це число років, протягом яких вона була в експлуатації. Він визначається не тільки фізичним зносом частин машини, але й темпами технічного прогресу. Водночас повний термін служби машини пов'язаний з її довговічністю: чим вища довговічність машини, тим більший повний термін її служби (за інших рівних умов).

Повний термін служби машини пов'язаний також з її експлуатаційною надійністю. Остання безпосередньо не визначає повного терміну служби, а обумовлює тільки термін служби до чергового ремонту, оскільки пов'язана з продуктивністю і з іншими найважливішими техніко-економічними показниками машини. Чим вища експлуатаційна надійність, тим вища

якість конструкції, тим менше витрати на ремонт, тим краще всі економічні показники машини і, отже, тим довше вона служитиме.

Разом з надійністю машини або агрегату існує термін надійності окремих деталей і вузлів. Надійність деталей визначається тривалістю міжремонтного терміну їх служби: чим вищий гарантійний міжремонтний термін служби деталей, тим вища їх надійність і, як правило, тим вища довговічність машини в цілому.

Але не слід ототожнювати довговічність машини і термін служби її окремих деталей і вузлів.

Підвищення надійності і термінів служби машин до ремонту є важливим джерелом економії засобів в результаті зменшення витрат на ремонт, скорочення витрат, пов'язаних з простоями устаткування в ремонті, а також економії матеріалів унаслідок зменшення витрати запасних частин.

Важливим засобом підвищення надійності машини є поліпшення технологічності її ремонту.

Конструкція кожної машини повинна допускати можливість швидкого і якісного ремонту в процесі експлуатації. Велике значення для підвищення технологічності ремонту машини має забезпечення максимально зручного доступу до окремих деталей, вузлів і агрегатів для їх огляду і заміни, а також легкість заміни (зняття, установки і кріплення) агрегатів і вузлів.

Значення показників змінюються мірою старіння техніки. Так, напрацювання машин і коефіцієнт готовності ( $KГ$ ) зменшуються, а експлуатаційні витрати ( $Z$ ) зростають з інтенсивністю 1,5...4% у рік. Ці зміни досить добре (з адекватністю 0,88...0,92) описуються експоненціальною залежністю з параметром  $\beta = 0,0012...0,048$  (параметр старіння по напрацюванню  $\beta t$  і за витратами  $\beta z$ ) (6):

$$KГ = \frac{TP(t)}{TP(t) + TH(t)} = \exp(-\beta t \times t) \quad (6)$$

$$TP(t) = TO \times KГ(t) \quad (7)$$

$$Znep(t) = ZO \times \exp(\beta z \times t) \quad (8)$$

де  $TP(t)$ ,  $TH(t)$  — тривалість періодів часу перебування машини в працездатному й непрацездатному станах відповідно;  $Znep(t)$  — змінна складова експлуатаційних витрат;  $TO$ ,  $TO$  — напрацювання і витрати за перший рік роботи нової машини відповідно;  $t$  — вік машини, рік.

Параметри  $\beta t$  і  $\beta z$  залежать від якості виготов-

лення техніки, умов експлуатації й рівня досконалості системи технічної експлуатації (СТЕ).

Витрати мають вельми складну структуру. У спрощеному вигляді склад витрат на утримання і експлуатацію парку машин, можливо представити виразом:

$$Z(t) = \sum Zi(t) = \sum \{Ai(t) + Zi + ZПЕБi + ZBCi + Hi + Znp\} + [ZГСМi(t) + ZТОPi + Znepi], \quad (9)$$

де  $i$  — порядковий номер одиниці техніки в парку;  $Ai(t)$  — амортизаційні відрахування;  $Zi$  — зарплата машиністів;  $ZПЕБi$  — витрати на зміст виробничо-експлуатаційної бази;  $ZBCi$  — відрахування у вищу організацію, засновникам і т.п.;  $Hi$  — податки;  $Znp$  — інші відрахування (на страховки, банківські відсотки по кредитах, лізингові платежі, дозволи, техогляди і ін.);  $ZГСМi$  — витрати на паливно-мастильні матеріали і робочі рідини;  $ZТОPi$  — витрати на технічні обслуговування і ремонти, зокрема на запчастини і частини, які швидко зношуються (ШЗЧ);  $Znepi$  — витрати на перебезування техніки.

Першу складову виразу (9) в квадратних дужках економісти розглядають як умовно-постійні витрати  $Znocm(t)$ , не залежні від кількості випущеної продукції (відпрацьованих машино-годин) за розрахунковий період (але це не означає, що  $Znocm(t)$  не залежать від середнього віку парку машин). Друга складова в квадратних дужках — змінні витрати  $Znep(t)$ , що зростають пропорційно обсягу продукції.

Прибуток  $\Pi(t)$  є різницею виручки  $B(t)$  і витрат  $Z(t)$ :

$$\Pi(t) = B(t) - Z(t) \quad (10)$$

Виручка залежить від ціни машино-години й напрацювання  $TP(t)$ :

$$B(t) = Ц_{маш} - ч \times TP(t) \quad (11)$$

Оптимальний термін служби машини може бути визначений за мінімумом питомих витрат, що доводяться на машино-годину роботи машини, максимуму питомого прибутку, заданому рівню рентабельності.

Моделі визначення термінів служби за мінімумом питомих витрат і максимумом питомого прибутку (оптимальні значення приблизно збігаються) доцільно застосовувати у випадку наявності в експлуатуючій організації засобів для оновлення парку машин. У цьому випадку

можна буде виручити значні суми від продажу машини (ринкова вартість знижується приблизно на 20% за рік від поточного значення ринкової вартості). Модель мінімуму рівня рентабельності ефективна для підприємств, що відчувають дефіцит засобів для придбання нової техніки [2].

Слід зазначити, що термін служби машин визначається також необхідним рівнем працездатності для виконання заданої роботи. Так, на менш відповідальних об'єктах можна застосовувати і менш надійну техніку і навпаки: якщо при виконанні роботи простої машини внаслідок раптових відмов можливі серйозні економічні або інші негативні наслідки, то слід використовувати надійніші машини. Тоді з урахуванням можливого економічного збитку  $Y(t)$  від простоїв техніки (або інших видів збитку, виражених через економічний еквівалент) вираз для прибутку виглядатиме так:

$$P(t) = B(t) - Z(t) - Y(t) \quad (12)$$

Механізм впливу збитку на ефективність застосування машин розглянутий в роботі [3].

Управляти термінами служби техніки можна також і економічними методами, наприклад, застосуванням різних схем амортизаційних нарахувань.

Процес оновлення парку машин включає не тільки оптимізацію заміни старих машин на нові. Можлива також покупка не нових машин, але тих, що мають вигідне співвідношення ціна/якість, капітальний ремонт техніки, заміна машин на продуктивніші й т. д. З комплексною методикою оновлення парку машин можна ознайомитися в роботі [4].

**Висновки.** Застосування перерахованих вище методів практично неможливе в сучасних умовах. Вони вимагають використання при розрахунках величин, які можуть бути одержані на основі аналізу за ряд років, складу парку машин певного класу і його економічних показників у динаміці. Для окремої промислової й будівельної організації одержати ці показники неможливо.

При визначенні економічно доцільних термінів експлуатації машин і механізмів за допомогою приведених вище методів не враховуються такі важливі чинники, які в сучасних ринкових умовах враховувати просто необхідно. До цих чинників належать:

— умови володіння устаткуванням або машиною (власна, на умовах фінансового або оперативного лізингу), для яких визначається оптимальний термін заміни;

— залежно від права власності наявність або відсутність можливості вибору амортизаційної політики;

— застосування техніки дисконтування при обґрунтуванні економічно доцільного періоду експлуатації;

— облік інфляції в розрахунках оптимального терміну служби машини або устаткування;

— умови експлуатації.

## Література

1. **Гусаков А.А.** Организационно-технологическая надежность строительства / Гусаков А.А., Веремеенко З.А., Гинзбург А.У. — М. : SVP Arsys, 1994. — 427 с. 2. **Репин С.В.** Концепция эффективности эксплуатации строительных машин / С. В. Репин // Строительные и дорожные машины. — 2007. — № 2. — С. 27 — 31; № 4. — С. 21 — 25. 3. **Репин С.В.** Оптимизация возрастной структуры парка строительных машин / С. В. Репин // Строительные и дорожные машины. — 2006. — № 9. — С. 28 — 31. 4. **Тян Р. Б.** Обеспечение строительного проекта оборудованием (машинами и механизмами) в современных условиях / Р. Б. Тянь, Н. В. Дятлова // Вісн. Придніпров. держ. акад. будівництва та архітектури. — Дніпропетровськ, 2001. — №3. — С. 56 — 61.

### Снітко Є.О. Аналіз існуючих методів планування оптимальних термінів служби машин і механізмів в операційному менеджменті

Розглянуто методи планування оптимальних термінів заміщення машин, механізмів та обладнання на промислових та будівельних підприємствах. Виявлені їх недоліки, а також фактори, які необхідно враховувати при розробці таких методів.

*Ключові слова:* планування, машини, механізми, обладнання, методи, заміщення, оптимізація

### Снітко Е.А. Анализ существующих методов планирования оптимальных сроков службы машин и механизмов в операционном менеджменте

Рассмотрены методы планирования оптимальных сроков замены машин, механизмов и оборудования на промышленных и строительных предприятиях. Выявлены их недостатки, а также факторы, которые необходимо учитывать при разработке таких методов.

*Ключевые слова:* планирования, машины, механизмы, оборудование, методы, замещения, оптимизация

### Snitko Y.A. Analysis of existent methods of planning of optimum terms of service of machines and mechanisms in an operating management

The methods of planning of optimum terms of replacement of machines, mechanisms and equipment are considered on industrial and building enterprises. Their failings and also factors which must be taken into account at development of such methods are exposed.

*Key words:* planning, machines, mechanisms, equipment, methods, substitutions, optimization.

Стаття надійшла до редакції 18.11.2009

Прийнято до друку 26.02.2010