

MIECZYŚLAW BOTWIN

Jak często wymieniać maszynę i dlaczego?

Как часто менять машину и почему?

How often a machine should be replaced and why?

Rozwój mechanizacji prac leśnych wymaga stałego wzrostu liczby maszyn pracujących w leśnictwie. W 1985 r. wartość maszyn, urządzeń technicznych i środków transportowych w cenach bieżących wynosiła 39 838 mln zł. Stanowiło to już 20,2% ogólnej wartości środków trwałych leśnictwa. Należy jednak podkreślić, że maszyny pracujące w leśnictwie są zużyte w 55,4%, a środki transportowe w 65%.

Koszty materialne globalnej produkcji leśnej 1985 r. wynoszą w NZLP 86 534 mln zł i stanowią już 44,7% wartości produkcji globalnej, w tym amortyzacja tylko maszyn kosztuje 3288,3 mln zł.

W Lasach Państwowych pracują 1433 samochody Praga V38, ale prawie 40% tych pojazdów miało już 2 naprawy główne, z 23,5 tys. krajowych pilarek ponad 46% ma powyżej 10 lat. Nawet wśród pługów leśnych egzemplarze mające powyżej 10 lat stanowią 15,5%. Przykłady można mnożyć i wszystkie świadczą o tym, że sprzęt i maszyny są w znacznym stopniu zużyte i wymagają wymiany.

Zagadnienie, kiedy wymienić maszynę, powinien w dobie reformy gospodarczej rozwiązywać kierownik samodzielnego i samofinansującego się przedsiębiorstwa, którego własnością jest ta maszyna. Koszty eksploatacji maszyny można podzielić na dwie grupy. Jedną stanowią koszty stałe, do których zaliczamy wydatek na zakup maszyny oraz ewentualnie koszt jednej lub nawet dwóch napraw głównych. W okresie eksploatacji maszyny wielkość tych kosztów pozostaje niezmienna — stała, a spłaty dokonuje się w postaci rocznych rat. W obecnej praktyce gospodarczej koszt naprawy głównej wynosi od 80 do 90% ceny zakupu maszyny. Jest to duży wydatek obciążający użytkownika, a równocześnie zrealizowanie go napotyka na pewne trudności ze względu na niewystarczającą moc przerobową zakładów naprawczych. Drugą grupę stanowią koszty zmienne. Są one przeznaczone na utrzymanie maszyny w ruchu, a obejmują wydatki na paliwo, smary, części zamienne, przeglądy techniczne i naprawy bieżące.

Cechą charakterystyczną tej grupy kosztów jest to, że ich wielkość stale wzrasta. Na podstawie dotychczasowych badań można stwierdzić, że składają się one z kosztów niezależnych od wieku maszyny na pozio-

mie pierwszego roku eksploatacji, które dla wielu maszyn wynoszą ok. 20% ceny zakupu.

Do kosztów utrzymania maszyny w ruchu zaliczamy również wydatki, które wzrastają w miarę starzenia się maszyny. Badania prowadzone w Polsce oraz w USA, ZSRR i innych krajach wykazały, że roczny wzrost kosztów zmiennych waha się ok. 4% ceny zakupu maszyny. Wielkość tego wzrostu zależy od jakości, typu maszyny, warunków eksploatacji oraz polityki cenowej prowadzonej przez państwo.

Skumulowane koszty eksploatacji maszyny w okresie t lat można obliczyć wg wzoru:

$$C_k = C + R + at + \frac{bt^2}{2} \quad (1)$$

We wzorze tym:

C_k — skumulowana wielkość kosztów eksploatacyjnych w ciągu t lat,

C — cena maszyny,

R — koszt naprawy głównej $R = 0,9C$,

a — koszt utrzymania maszyny w pierwszym roku eksploatacji $a = 0,2C$,

b — roczny wzrost kosztów utrzymania maszyny w ruchu b od 4 do 10% ceny maszyny,

t — okres eksploatacji maszyny w latach.

W działalności gospodarczej powinniśmy dążyć do ekonomicznie uzasadnionej minimalizacji kosztów w okresie eksploatacji maszyny. Jeżeli okres eksploatacji maszyny, przy którym osiąga się minimalne średnioroczne koszty będziemy nazywać okresem optymalnym (t_{opt}), to skumulowane koszty eksploatacji przedstawione wzorem (1) należy podzielić przez liczbę lat eksploatacji, aby otrzymać koszty średnioroczne C_r , a więc

$$C_r = \frac{C}{t} + \frac{R}{t} + a + \frac{bt}{2} \quad (2)$$

Z analizy matematycznej wiadomo, że aby osiągnąć minimum funkcji należy zróżniczkować funkcję i jej pochodną przyrównać do zera oraz rozwiązać względem zmiennej, którą w naszym przypadku jest zmienna t . Funkcja przedstawiona wzorem (2) nazywa się funkcją celu, a jej pierwsza pochodna ma postać:

$$\frac{dC_r}{dt} = -\frac{C + R}{t^2} + \frac{b}{2} \quad (3)$$

Optymalny okres eksploatacji maszyny t_{opt} możemy zatem obliczyć wg wzoru:

$$t_{opt} = \sqrt{\frac{2(C+R)}{b}} \quad (4)$$

Wzór 4 można uprościć, jeżeli się uwzględni, że b różni się o ok. 4% od C i R $0,9C$, i wtedy

$$t_{opt} = \sqrt{\frac{2(190)}{4}} \quad (5)$$

We wzorze (5) w liczniku i mianowniku mamy wartości wyrażone w procentach ceny maszyny. Według tak przedstawionego wzoru (5), optymalny okres czasu eksploatacji maszyny t_{opt} zależy wyłącznie od rocznego wzrostu kosztów utrzymania maszyny. Mianownik w tym wzorze może mieć wartość od 4 do 10% w zależności od miejscowych warunków. Liczba przyjętych napraw głównych i ich koszt zależy również od warunków miejscowych i typu maszyny. Należy jednak pamiętać, że zwiększenie liczby napraw głównych prowadzi nie tylko do wydłużenia optymalnego okresu eksploatacji, ale zwiększa dość istotnie średnioroczne koszty użytkowania, co w okresie reformy gospodarczej jest zjawiskiem niepożądanym.

Przykład

Obliczyć kształtowanie się kosztów eksploatacji maszyny i jej optymalny okres eksploatacji, jeżeli cena maszyny wynosi 800 tys. zł, koszt utrzymania w pierwszym roku — 160 tys. zł, roczny wzrost kosztów utrzymania maszyny — 40 tys. zł i przewiduje się eksploatować maszynę bez naprawy głównej.

Według wzoru teoretycznego:

$$t_{opt} = \sqrt{\frac{2C}{b}} = \sqrt{\frac{1600}{40}} \approx 6,32 \approx 6 \text{ lat}$$

Przy jednej naprawie głównej:

$$t_{opt} = \sqrt{\frac{2(C+R)}{b}} = \sqrt{\frac{3040}{40}} \approx 8,71 \approx 9 \text{ lat}$$

Kształtowanie się kosztów przedstawiono w tabeli.

Jak widać z tabeli obliczenia średniorocznych kosztów eksploatacyjnych potwierdziły poprawność wzorów teoretycznych. Dla maszyn bez naprawy głównej okres optymalny wynosi 6 lat i wtedy minimalne roczne koszty w okresie eksploatacji wynoszą 413 tys. zł. Zarówno skrócenie, jak i wydłużenie okresu eksploatacji powoduje wzrost średniorocznych kosztów eksploatacji maszyny określonej warunkami przykładu. Dla maszyny z jedną naprawą główną optymalny okres wynosi 9 lat, ale wtedy wynoszą one 509 tys. zł, czyli są o 96 tys. wyższe. Jeżeli maszynę bez naprawy głównej będziemy eksploatowali nie 6 lecz 10 lat, to każdy rok eksploatacji będzie nas kosztował o 27 tys. zł drożej. Jeżeli maszynę z 1 naprawą główną będziemy eksploatowali nie 9 lecz 13 lat, to każdy rok eksploatacji będzie nas kosztował o 28 tys. drożej. I to jest odpowiedź na pytania zadane w tytule artykułu. Jeżeli nie chcemy prowadzić do nieuzasadnionej podwyżki kosztów, musimy posiadane maszyny eksploatować i wymieniać w okresie optymalnym.

**Wpływ okresu eksploatacji maszyny na wielkość kosztów eksploatacyjnych
i średniorocznych kosztów eksploatacji**

| Lata eksploatacji | Skumulowana wielkość kosztów eksploatacji maszyny bez naprawy głównej w tys. zł | Skumulowana wielkość eksploatacji maszyny z jedną naprawą główną $R = 0,9C$ w tys. zł | Średnioroczne koszty eksploatacji w tys. zł | |
|-------------------|---|---|---|--------------------|
| | | | bez naprawy głównej | z 1 naprawą główną |
| 1 | 960 | 1520 | 960 | 1520 |
| 2 | 1200 | 1920 | 600 | 960 |
| 3 | 1460 | 2180 | 487 | 727 |
| 4 | 1760 | 2480 | 440 | 620 |
| 5 | 2100 | 2820 | 420 | 564 |
| 6 | 2480 | 3200 | 413 | 533 |
| 7 | 2900 | 3620 | 414 | 517 |
| 8 | 3360 | 4080 | 420 | 510 |
| 9 | 3860 | 4580 | 429 | 509 |
| 10 | 4400 | 5120 | 440 | 512 |
| 11 | 4980 | 5700 | 453 | 518 |
| 12 | 5600 | 6320 | 467 | 527 |
| 13 | 6260 | 6980 | 482 | 537 |
| 14 | 6960 | 7680 | 497 | 549 |
| 15 | 7700 | 8420 | 513 | 561 |

Analizując koszty eksploatacji i ich wpływ na optymalny okres można stwierdzić, że koszty stałe spłacane w rocznych ratach działają w kierunku wydłużenia okresu, gdyż im dłuższy okres eksploatacji, tym jest mniejsza roczna rata. Koszty zmienne działają w kierunku skrócenia czasu eksploatacji, gdyż wydłużenie czasu eksploatacji powoduje wyżkę kosztów zmiennych przypadających na jeden rok eksploatacji maszyny. Na podstawie analizy wzoru (3) można stwierdzić, że okres optymalny

ma miejsce wtedy, kiedy wielkość kosztów stałych $C + R = \frac{bt^2}{2}$, a więc koszty stałe zrównają się z wielkością kosztów zmiennych zależnych od wieku maszyny, tzn. $\frac{bt^2}{2}$. Stwierdzenie to jest prawdziwe dla modelu liniowego kosztów, w naszym przykładzie dla maszyny bez naprawy głównej $800 = 40 \frac{6^2}{2} = 720$, ale według dokładnych obliczeń optymalny okres wynosi 6,32 i wtedy zmienne koszty zależne od wieku maszyny $40 \frac{6,32^2}{2} = 798,85$. A więc maszynę, której koszty zmienne zależne od wieku zrównały się z kosztami stałymi należałoby wymienić. Dalsza eksploatacja takiej maszyny powoduje wzrost kosztów eksploatacji.

Na podstawie wzorów teoretycznych w ujęciu procentowym można obliczyć optymalny okres eksploatacji jedynie na podstawie wielkości wzrostu rocznych kosztów zmiennych wyrażonych w procentach ceny maszyny i tak dla okresu bez naprawy głównej:

$$t_{\text{opt}} = \sqrt{\frac{200}{p}} \quad (6)$$

gdzie p — procent wzrostu rocznych kosztów zmiennych utrzymania maszyny w ruchu wyrażonych w procentach ceny maszyny. Dla okresu z jedną naprawą główną, której cena $R = 0,9C$

$$t_{\text{opt}} = \sqrt{\frac{2(190)}{p}} = \sqrt{\frac{380}{p}} \quad (7)$$

a dla eksploatacji z dwiema naprawami głównymi, kiedy $R = 0,9C$

$$t_{\text{opt}} = \sqrt{\frac{2(100+90+90)}{p}} = \sqrt{\frac{560}{p}} \quad (8)$$

Na podstawie wzorów 6, 7, 8 można obliczyć optymalny okres eksploatacji maszyny w zależności od p przy 1 lub 2 naprawach głównych oraz przy eksploatacji bez naprawy głównej. Obliczenia t_{opt} przedstawiono w następujących zestawieniach:

a) dla gospodarki bez naprawy głównej: kiedy $b = 6\%$ $t_{\text{opt}} = 5,77 \approx 6$ lat, kiedy $b = 8\%$ to $t_{\text{opt}} = 5$ lat, kiedy $b = 10\%$ to $t_{\text{opt}} = 4,47 \approx 4$ lata;

b) dla eksploatacji z jedną naprawą główną: kiedy $b = 6\%$ to $t_{\text{opt}} = 7,95 \approx 8$ lat, kiedy $b = 8\%$ to $t_{\text{opt}} = 6,89 \approx 7$ lat, a kiedy $b = 10\%$ to $t_{\text{opt}} = 6,16 \approx 6$ lat.

Dla eksploatacji z dwiema naprawami głównymi:

kiedy $b = 6\%$, to $t_{\text{opt}} = 9,66 \approx 10$ lat,

kiedy $b = 8\%$, to $t_{\text{opt}} = 8,36 \approx 8$ lat,

kiedy $b = 10\%$, to $t_{\text{opt}} = 7,48 \approx 7$ lat.

Znając roczny wzrost kosztów zmiennych eksploatacji maszyny, można przyjąć model liniowy, określić optymalny okres eksploatacji tej maszyny z uwzględnieniem liczby napraw głównych i jej kosztów. Obliczenia takie można i należy przeprowadzać w celu osiągnięcia minimalnych średniorocznych kosztów. Obliczenia takie wymagają jednak ewidencjonowania kosztów w trakcie eksploatacji tej maszyny. Jest to jednak obowiązek każdego gospodarza prowadzącego gospodarstwo na podstawie rachunku ekonomicznego. We wszystkich przypadkach należy sprawdzić, czy t_{opt} nie przekracza okresu dopuszczalnego przez instrukcję producenta uwzględniającą zużycie fizyczne maszyny.

Praca wpłynęła do Komitetu Redakcyjnego 5 października 1987 r.

Краткое содержание

Во время II этапа экономической реформы все хозяйственные действия, а следовательно и принципы использования машин должны опираться на экономические принципы и на расчёте затрат. Эксплуатируя машины должны стремиться к достижению минимальных среднегодовых затрат на их эксплуатацию. Затраты на эксплуатацию машины сначала уменьшаются, достигая минимум при определённом моменте эксплуатации, а потом постоянно растут. В статье, на основании анализа затрат эксплуатации машин, были выведены формулы позволяющие определить оптимальный момент эксплуатации, при котором среднегодовые затраты на эксплуатацию достигнут минимум и это будет момент, который определяет частоту замены машины в целях достижения самых лучших результатов ведения хозяйства. Если известен годовой рост затрат на эксплуатацию машины — b и какие это составляет проценты цены покупки машины, то оптимальный период эксплуатации, при условии, что не предусматривается капитальный ремонт и не учитывается снижение произво-

дительности труда, можно вычислить согласно формуле $t_{opt} = \sqrt{\frac{200}{b}}$ и при $b = 8\%$ равняется 5 лет.

Summary

In the time of the 2nd stage of the economic reform, all economic activities, thus also the rules of machinery economy, should be based on economic principles and calculation of costs. Utilizing a machine, one must endeavour after reaching the minimum annual mean costs of its maintenance. At first, the costs of maintenance of a machine decrease, after some period of utilization they reach minimum and then they permanently increase.

In the paper, on the basis of analysis of costs of utilization of machinery, the author deduced formulae rendering possible to determine the optimum period of utilization, at which the annual mean costs of utilization reach the minimum and this is the period pointing out the frequency of replacing a machine with the aim

of obtaining the best economic results. When we know the annual increase of costs of utilization of a machine — b and what a percentage this is of the price of purchase of the machine, so we can calculate, on condition that no capital repairs are provided and no decrease of the working capacity is taken into account, the optimum period according to following formula $t_{opt} =$

$$\frac{200}{b} . \text{ When } b = 8\%, \text{ it amounts to 5 years.}$$