

ТЕКУЩИЕ ПРИЗНАКИ И ОЦЕНКА СТАРЕНИЯ МАШИН

V.A. Ushanov

CURRENT SIGNS AND EVALUATION OF MACHINES' AGING

Ушанов В.А. – д-р техн. наук, проф. каф. механизации и технического сервиса в АПК Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: info@kgau.ru

Ushanov V. A. – Dr. Techn. Sci., Prof., Chair of Mechanization and Technical Service in AIC, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk. E-mail: info@kgau.ru

Изношенность машины в целом является суммарным результатом случайного технического состояния составляющих её элементов. В этой связи для корректного решения прикладных задач машина должна быть представлена как вероятностная система стареющих элементов с неполным восстановлением, а как источник требований на обслуживание по восстановлению её работоспособности – композицией законов распределения. В связи с описанной интерпретацией машин возникает задача количественной оценки её технического качества потребителем. Если для этих целей использовать только показатели надёжности, то традиционное понятие технического отказа для таких систем становится недостаточно информативным. В рассматриваемом случае более корректно использовать интегральный показатель «эффективность». Этот обобщённый показатель оценивается уровнем производительности и эксплуатационными издержками. Одной из конечных задач совершенствования системы сопротивления машин старению является обоснование нормативов, управляющих моментом ремонтного вмешательства по мере снижения производительности машин и роста эксплуатационных издержек. В этой связи исследование динамики названных показателей, входящих в оценку эффективности, становится научной необходимостью. В статье установлены зависимости эксплуатационных издержек и производительности в зависимости от их возраста. Последний принят как мера, адекватная потере технического качества машин. Цель: исследовать динамику по-

казателей, характеризующих эффективность использования машин. Задачи: установить аналитическую связь эксплуатационных издержек и производительности машин в зависимости от их возраста. В процессе исследования использовались методы дифференциального исчисления и сглаживания экспериментальных результатов.

Ключевые слова: эффективность, производительность, эксплуатационные издержки.

The wear of the machine as a whole is the total result of the poor technical condition of its constituent elements. In this regard, for correct solution of applied problems, the machine should be presented as a probabilistic system of aging elements with incomplete restoration, and as a source of maintenance requirements for the restoration of its performance – the composition of distribution laws. In connection with described interpretation of machines, there is a problem of evaluation of its technical quality by the consumer. If only reliability indicators are used for these purposes, traditional concept of technical failure for such systems becomes insufficiently informative. In this case, it is more correct to use the integral indicator called "efficiency". This summary index is measured by the level of productivity and operating costs. One of final tasks of improving the system of resistance to aging machines is to justify the standards controlling the moment of repair intervention as the performance of machines and the growth of operating costs. In this regard, the study of the dynamics of these indicators included in the performance assessment becomes a scientific necessity. In the study the dependence of operating costs and

productivity depending on their age is established. The latter is taken as a measure adequate to the loss of technical quality of machines. The purpose is to study the dynamics of indicators characterizing the efficiency of the use of machines. The tasks are to establish analytical relationship between operating costs and the performance of machines depending on their age. The methods of differential calculation and smoothing of experimental results have been used in the research.

Keywords: efficiency, productivity, operating costs.

Введение. По мере старения машина теряет свою эффективность. Под этим процессом в данном случае понимается комплексное явление, объединяющее снижение производительности машин и увеличение эксплуатационных издержек. Для обоснования управляющих нормативов, обеспечивающих максимально-допустимую реализацию технического ресурса стареющей машины, необходимо исследовать динамику этих показателей [1, 2].

Результаты исследований и их обсуждение

Динамика производительности. Обозначим производительность машины $y(t)$. Считая произ-

водительность единичной машины функцией времени, мы предполагаем возможность ее снижения в зависимости от возраста, или увеличения – в связи с заменой на новую, более современную (или модернизированную), соответствующую уровню технического прогресса на момент замены – t_c . Экспериментально определить и аналитически выразить эту функцию технически непросто. Для этого необходимо было бы организовать репрезентативные наблюдения за парком однотипных машин разного возраста. Однако качественная взаимозависимость очевидна: старая машина менее производительна, чем новая. Но количественная характеристика этого качественного утверждения встречается редко, тем более в обобщенном виде.

Можно предположить, что мгновенная производительность, т.е. производственная мощность машины, от ее возраста зависит мало. Причины снижения производительности кроются в простых по техническим причинам, которые тесно коррелируют с показателями надёжности.

Это обстоятельство подтверждается количественными результатами, полученными Ю.А. Конкиным [3].

Таблица 1

Динамика производительности машин в зависимости от их возраста

Тяговый класс трактора	Наработка за 2-й год, у.э. га	Наработка за 10-й год, в % к 2-му	Примечания
5	3650	60,6	
4	1425	79,1	За 8-й год
3	2450	78,8	
1,4	1195	91,4	

Зависимость производительности машины от возраста в общем виде можно выразить следующим образом:

$$y(\tau) = y_0 k_{и}(\tau) = y_0 (k_{тг}(\tau) - k_{пр}) k_{исм}(\tau), \quad (1)$$

где $y(\tau)$ – функция производительности машин в зависимости от их возраста; y_0 – потенциальная годовая производительность новой машины в момент t_0 ; $k_{и}$ – коэффициент технического использования машин парка со средним возраст-

том $\bar{\tau}$; $k_{тг}$ – коэффициент технической готовности; $k_{пр}$ – коэффициент простоя исправной машины по причинам, не связанным с техническими; $k_{исм}$ – коэффициент использования времени смены.

Коэффициент использования машин парка со средним возрастом $\bar{\tau}$ ($k_{и}$)

$$k_{и} = (k_{тг}(\tau) - k_{пр}) k_{исм}(\tau). \quad (2)$$

Работоспособность машин наиболее полно отражает характеристика сменной производительности в течение года. Информация о количестве отработанных смен в году носит более обобщённый характер, поскольку она характеризует не только техническое состояние машины, но и уровень сервисного сопровождения.

Эксплуатационные издержки. Второй составляющей интегрального показателя – эффективности использования машин – являются эксплуатационные издержки. В общем виде просуммированные нарастающим итогом текущие эксплуатационные затраты в процессе старения машин можно представить в виде полинома n -й степени $L(t)$

$$L(t) = c(1 + \alpha_1 t + \alpha_2 t^2 + \dots + \alpha_n t^n), \quad (3)$$

где c, α – коэффициенты полинома.

Академик ВАСХНИЛ А.И. Селиванов [4] рекомендует ограничиваться тремя членами такого полинома. Первый – связан с разовыми затратами, второй – с пропорциональными времени использования (топливо, трудовые затраты), третий – с прогрессирующими. На выбор рационального управления периодичностью ремонта и замены оказывают влияние только прогрессивно возрастающие затраты.

«Рыночный» товаропроизводитель не заинтересован в сокращении срока службы машин. Фактическая продолжительность использования машин увеличилась за последние 20 лет в 1,5 раза. Такое стихийное увеличение сроков приводит к необоснованному прогрессирующему росту эксплуатационных затрат.

Чтобы разрыв между стихийно сложившейся практикой и прежними расчетами получил достаточно логическое обоснование, приведём бо-

лее адекватный подход к формированию эксплуатационных затрат по мере старения машин.

Интенсивность текущих эксплуатационных затрат (для неуправляемого процесса старения) найдется как производная от $L(t)$

$$I(t) = L'(t) = c(\alpha_1 + 2\alpha_2 t + 3\alpha_3 t^2 + \dots + n\alpha_n t^{n-1}). \quad (4)$$

Допустим, что через некоторое время T_d производится ремонт, в процессе которого полностью восстанавливается технический ресурс. Тогда интенсивность последующих текущих эксплуатационных расходов для любого момента t может быть найдена по кривой 1 (рис. 1), но с заменой аргумента t на аргумент $t - vT_d$, где v – порядковый номер ремонта (кривая 2).

Как правило, капитальный ремонт не обеспечивает полного восстановления технического ресурса (напомним, что при капитальном ремонте $q < 1$). Это обстоятельство подтверждается и распределениями безотказной работы $f(t)$ и $g(t)$, которые отличны друг от друга [5].

В этом случае отсчет текущих эксплуатационных затрат после ремонта, т.е., например, после момента $0 + T_d$ (см. рис. 1), следует начинать по кривой $I(t)$ не с нуля, а с момента $t_1 = 0 + T_d - \eta_1 T_d = 0 + (1 - \eta_1) T_d$ и продолжать его до момента $t_1 + T_M$. Где $\eta_1 \leq 1$ – показатель, характеризующий отношение экономичности эксплуатации отремонтированной машины к экономичности новой машины. В первом приближении величина η_1 эквивалентна степени восстановления технического ресурса при её капитальном ремонте, т.е. $\eta_1 \sim q$.

Таким путём можно определить начало и окончание отсчета текущих эксплуатационных затрат для машины, прошедшей два и более ремонта (см. рис. 1, кривая 1).

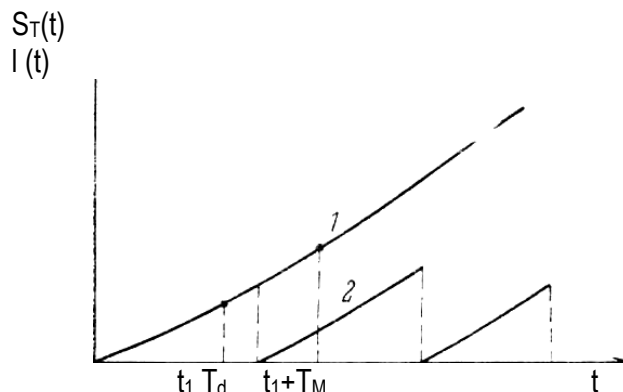


Рис. 1. Формирование интенсивности текущих эксплуатационных затрат в неуправляемом процессе старения машины: 1 – $I(t)$ – в доремонтном периоде; 2 – $S(t)$ – в послеремонтном

В связи с тем, что сервисное предприятие в определённый период развития имеет установленный уровень q ($\eta_1 \sim q$), можно допустить, что экономичность эксплуатации в каждом последующем межремонтном периоде уменьшается относительно одинаково по сравнению с предыдущим, т.е. если $\eta_1 = \eta_2 = \eta_3$ и т.д., то, в соответствии с формулой (4), можно обосновать динамику интенсивности текущих эксплуатационных затрат машины S_T :

$S_T^{(0)} = -$ до ремонта;

$S_T^{(1)} = I[(1-q)T_d + t]$ – после первого ремонта;

$S_T^{(2)} = I[(1-q^2)T_d + t]$ – после второго ремонта и т.д.

В зависимости от значений q и T_d интенсивность изменения текущих эксплуатационных затрат $S(t)$ изобразится семейством кусочно-гладких кривых (рис. 2). Каждая кривая соответствует вполне определенному управлению периодичностью ремонта. Поэтому, задавая эту характеристику управления в виде значений T_{mi} и q_i , мы имеем возможность пользоваться каждый раз одной соответствующей функцией $S_{mi}(t)$.

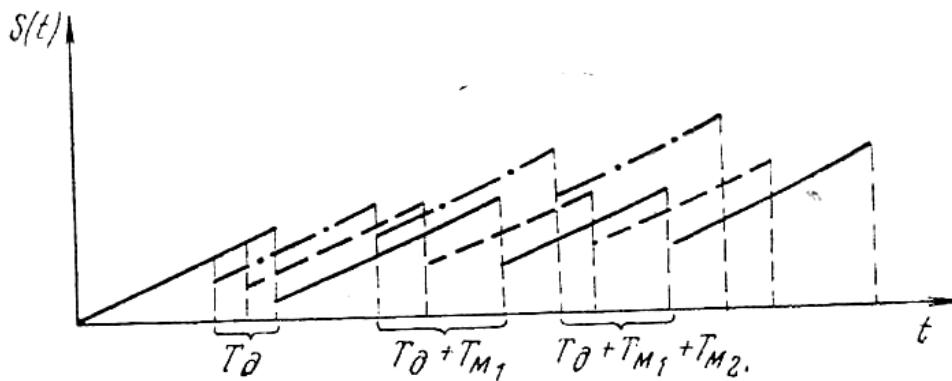


Рис. 2. График интенсивности текущих эксплуатационных затрат при различной периодичности ремонтов

Выводы. Установлена динамика производительности и эксплуатационных издержек, входящих в оценку эффективности использования машин, по мере их старения. Характер изменения этих показателей является одним из основных аргументов при обосновании параметров, управляющих составом РОР в зависимости от фактического технического состояния машин.

Литература

1. Гальперин А.С., Михлин В.М. Резервы снижения вероятности отказа и повышения фактически используемого ресурса элемента машины // Машинно-технологическая станция. – 2008. – № 6. – С. 10–13.
2. Ушанов В.А. Имитационная модель исследования и оптимизации параметров сопротивления машин старению // Вестник КрасГАУ. – Красноярск. – 2011. – № 9. – С. 245–251.
3. Конкин Ю.А., Конкин М.Ю. Экономика технического сервиса на предприятиях АПК / под ред. Ю.А. Конкина. – М.: КолосС, 2005. – 368 с.
4. Селиванов А.И. Основы теории старения машин. – М.: Машиностроение, 1970. – 408 с.
5. Ушанов В.А. Методы оптимизации в системе использования и технического сервиса машин: учеб. пособие / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2014. – 251 с.

Literatura

1. Gal'perin A.S., Mihlin V.M. Rezervy snizhenija verojatnosti otkaza i po-vyshenija fakticheski ispol'zuemogo resursa jelementa mashiny // Mashin-no-tehnologicheskaja stancija. – 2008. – № 6. – S. 10–13.
2. Ushanov V.A. Imitacionnaja model' issledovanija i optimizacii paramet-rov soprotivlenija mashin stareniju // Vestnik KrasGAU. – Krasnojarsk. – 2011. – № 9. – S. 245–251.
3. Konkin Ju.A., Konkin M.Ju. Jekonomika tehničeskogo servisa na predpri-atijah APK / pod red. Ju.A. Konkina. – M.: KolosS, 2005. – 368 s.
4. Selivanov A.I. Osnovy teorii starenija mashin. – M.: Mashinostroenie, 1970. – 408 s.
5. Ushanov V.A. Metody optimizacii v sisteme ispol'zovanija i tehničeskogo servisa mashin: ucheb. posobie / Krasnojarsk. gos. agrar. un-t. – Krasnojarsk, 2014. – 251 s.

