ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 625.76.08

© О. К. Бобобеков, аспирант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: orifjon-1986@mail.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2018-15-3-147-152

© О. К. Bobobekov, post-graduate student
(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)
E-mail: orifjon-1986@mail.ru

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СРОКОВ СЛУЖБЫ НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

DEVELOPMENT OF TECHNIQUE FOR DETERMINING THE TERMS OF SERVICE FOR LAND TRANSPORT TECHNOLOGICAL MACHINES

Предложена методика определения сроков службы наземных транспортно-технологических машин и по ней выполнен расчет сроков их службы по трем видам экономических показателей: критериям минимума удельных затрат на единицу времени работы техники (годовых и за 1 ч), кумулятивной прибыли за срок службы, требуемому уровню рентабельности.

Ключевые слова: методика, срок службы, эксплуатация, ремонт, наземные транспортно-технологические машины.

Some techniques for determining the terms of service of land transport technological machines are proposed. Calculation of the service life of the land transport and technological machines is performed basing on three types of economic indicators: 1) the criteria of the minimum unit cost per unit of equipment operation time (per year and per hour); 2) cumulative profit for the service life; 3) the required level of profitability.

Keywords: methodology, service life, operation, repair, land transport and technological machines.

Рассмотрение вопроса срока службы наземных транспортно-технологических машин (НТТМ) представляется возможным в силу того, что любая НТТМ и составляющие ее детали в течение срока службы проходят одни и те же периоды:

1) только что выпущенная НТТМ при определенных условиях эксплуатации имеет известную работоспособность и иные технические параметры, аналогичные технической готовности таких же новых НТТМ; стоимость идентичных НТТМ при выпуске также равнозначна;

2) в ходе эксплуатации в результате старения при соразмерных накопленных объемах исполненных работ технические характеристики большинства НТТМ одного вида изменяются приблизительно одинаково;

3) в результате объема выполняемых работ НТТМ необходимы дополнительные ТО, ремонт

и замена неработоспособных частей для сохранения приемлемой работоспособности и экономической оправданности ее использования;

4) период старения, при котором возрастают расходы на содержание НТТМ, рабочую силу, электричество, ремонтные материалы; износ несущих частей НТТМ ускоряется;

5) при исчерпании экономически оправданных ресурсов НТТМ ее снимают с производственной деятельности; владелец НТТМ должен решить задачу ее утилизации.

Известные авторы подходили к проблеме определения оптимального срока службы НТТМ с других позиций, например, в [9, 14] была предложена система показателей, основой которой является прибыль на рубль основных производственных фондов. Исходя из того что оценка эффективности работы отдельной машины в принципе должна производиться на той же основе, что

и работа отдельного производственного подразделения, Р. Н. Колегаев критерием экономической долговечности машины предложил считать наибольшую рентабельность ее использования K за весь период эксплуатации [8]:

$$K = \frac{(Z_{\text{Ц}} - Z_{\text{АС}})}{Z_{\text{АФ}}} \rightarrow \max, \quad (1)$$

где K — коэффициент рентабельности; $Z_{\text{Ц}}$ — закупочная стоимость НТТМ; $Z_{\text{АС}}$ — затраты на производство НТТМ; $Z_{\text{АФ}}$ — затраты на обслуживание НТТМ в течение периода ее эксплуатации.

Методика, разработанная Р. Н. Колегаевым, достойна внимания, но представляется трудно осуществимой на практике ввиду сложности процесса сбора данных, а также ввиду дополнительных, не влияющих напрямую на процесс производства и трудно просчитываемых факторов, таких как уровень цен на НТТМ и материалы, организационные особенности хозяйства и т. д. [2, 8, 10].

Наиболее подробно проблема оптимизации сроков службы НТТМ была рассмотрена в работе [12], где аналитически раскрыта универсальная зависимость прогрессивно возрастающих расходов от срока эксплуатации НТТМ. По существу, задача определения срока службы НТТМ на предприятии сводится к определению такого срока ее эксплуатации, при котором предприятие (хозяйство), привлекающее НТТМ в производство и несущее все связанные с ней обременения, сохраняет способность извлекать прибыль из ее эксплуатации.

Независимо от первоначальной стоимости НТТМ, обременений, связанных с ее обслуживанием, а также упущенной выгоды от потенциального вклада этих средств в другие, более выгодные активы, НТТМ остается у потребителя до тех пор, пока указанные обременения в должной мере компенсируются прибылью от выполненной НТТМ на определенный момент времени работы [3, 4, 6].

Эти рассуждения наводят на мысль о выражении общего экономического признака, характеризующего прибыль от эксплуатации НТТМ на протяжении ее жизненного цикла. Этот признак легко может быть выражен функцией затрат

и потерь (Y), в которую разного рода затраты и потери входят аддитивно:

$$Y = A + Bt + \sum C_i \cdot t^{\delta_i}, \quad (2)$$

где A — затраты на покупку НТТМ (разовые); B — расходы за промежуток времени t обременения, связанные с технической и логистической стороной эксплуатации НТТМ (транспортировка, хранение и ТО); C — фиксированный показатель затрат на НТТМ при участии ее в производстве i -го вида работ за год; δ — прогрессирующий показатель затрат на эксплуатацию НТТМ по мере ее старения.

Как видно из (2), суммарные затраты эксплуатирующего состоят из следующих частей:

- разовой (A) — на покупку НТТМ;
- пропорциональных времени использования (хранение, рабочая сила и топливо) (Bt);
- прогрессирующих — по мере повышения сроков службы НТТМ, вызываемых усложнением технологического содержания, технического обслуживания и ремонта и т. д. [7, 14].

В [10, 11] выведен критерий для вычисления оптимального срока эксплуатации. Срок службы выводится с учетом экономических, технических, социальных, эргономических и других ресурсных параметров единицы НТТМ (рис. 1). Динамика характеристик является функцией качества изготовления НТТМ и уровня ее технической эксплуатации [6, 10, 11].

Понятие срока службы связано с применением НТТМ, представляющим собой отношение результата деятельности к затраченным ресурсам. Результат выражается в единицах выработанной продукции (тонны перевезенного груза, кубометры открытого грунта, площади уложенного асфальта и т. д.) или отработанных машино-часах [10, 11].

Задействованные ресурсы делятся:

- на финансовые (оплата труда, расходные материалы, амортизационные затраты, ТОиР, накладные расходы, налоги);
- временные (время, необходимое на ТО и ремонт, непредвиденные простои).

Существуют понятия оптимального и максимального сроков службы. Оптимальный — минимально возможная эффективность, а максимальный срок службы подразумевает максимальную. Остаточный запас производственной

Рис 1. События, состояния техсистемы (граф переходов) и ресурсные характеристики: Р — работоспособное состояние; И — исправное состояние; Н/Р — неработоспособное состояние; ТР, КР — текущий, неплановый и капитальный ремонт; Т-ресурс — технический ресурс

силы до максимального срока службы выражаются в машино-часах.

Управление сроками службы НТТМ производится для получения заданных показателей функционирования парка техники с учетом условий эксплуатации и системы обеспечения его работоспособности. Показатели могут быть техническими (производительность, объем выпущенной продукции), экономическими (затраты, прибыль, рентабельность), надежностными (интенсивность отказов, коэффициент готовности) (см. рис. 1).

Критерии для определения срока эксплуатации НТТМ. Экономическими критериями оптимального срока службы НТТМ могут быть:

- удельные показатели на единицу времени, машино-час;
- кумулятивная прибыль за срок службы;
- требуемый уровень рентабельности.

Рентабельность эксплуатации НТТМ как функцию времени можно выразить отношением (3), ограничив его заданным предельным значением:

$$R(t) = \frac{\Pi(t)}{Z(t)} \geq R_{\min}, \quad (3)$$

здесь Π — прибыль; Z — затраты; $R_{\min}$ — заданный минимальный уровень (см. формулу (1)), ниже которого эксплуатация НТТМ признается нерентабельной.

При значении $R_{\min}$, например, 0,3 получаем максимальный срок службы НТТМ $t_{\max}^{R_{\min}}$ по условию нижнего предела уровня рентабельности, меньший $t_{\Pi_{\max}}$ (максимального срока служ-

бы НТТМ по условию положительного значения прибыли).

Нетрудно заметить, что $t_{\max}^{R_{\min}}$ намного превышает оптимальный срок службы $t_{\text{ОПТ}}^{R_{\max}}$, рассчитанный по минимуму удельных затрат, приведенных к машино-часу.

На рис. 2 показан расчет срока службы НТТМ при минимальном заданном уровне рентабельности 30 %. Эти расчеты произведены в системе MATHCAD [10, 15].

Определение срока службы НТТМ по кумулятивной прибыли за ее срок службы. В течение сроков службы НТТМ суммарная выручка $SB(t) = \sum B(t)$ и суммарные затраты $SZ(t) = \sum Z(t)$ составят суммарную (кумулятивную либо накопленную) прибыль от использования НТТМ [1, 5, 10] (рис. 3):

$$СП(t) = -C_m + SB(t) - SZ(t). \quad (4)$$

В работе [12] оптимальный срок службы НТТМ находится по точке контакта касательной $y(t) = at$ с кривой $СП(t)$.

Расчет затрат на НТТМ в год:

$A := C_m E_n$ — амортизационные отчисления в год при равномерном распределении по годам, руб., $A = 3 \cdot 10^5$;

$3_{\text{стр}} := 0,02 C_m$ — затраты на страховку;

$3_{\text{нал}} := 0,01 C_m$ — затраты на выплату налогов;

Рис. 2. Определение срока службы НТТМ при минимальном заданном уровне рентабельности 30 %: $t_{\max}^{R_{\min}}$ — предельно допустимый срок службы при заданном уровне $R_{\min}$; $t_{\text{ОПТ}}^{R_{\max}}$ — оптимальный срок эксплуатации НТТМ при ее максимальной рентабельности, заданной $R_{\max}$; $t_{\Pi_{\max}}$ — максимальный срок эксплуатации, при котором НТТМ обеспечивает прибыль; 1 — при равномерном методе расчета амортизационных отчислений; 2 — при ускоренном (с коэффициентом два) методе расчета амортизационных отчислений

Методикой подбора установлено $a := 1020$ $y(t) := a \cdot t$

Динамика кумулятивной прибыли в зависимости от срока службы машины, тыс. руб.

Расчет пересечения касательной $y(t) = at$ с кривой $SΠ(t)$

$f(t) := SΠ(t) - y(t)$

Начальное приближение: $t := 4$ $t := \text{root}(f(t), t)$

Результат: $t = 7,044$ год

Рис. 3. Расчет срока службы НТТМ по величине кумулятивной прибыли в среде MATHCAD

$З_{\text{хр}} := 5000$ руб. — затраты на хранение машины;

$З_{\text{накл}} := 0,01 C_{\text{м}}$ — накладные расходы.

Издержки владения НТТМ (не зависят от срока службы):

$$З_{\text{в}} = (A + З_{\text{стр}} + З_{\text{нал}} + З_{\text{хр}} + З_{\text{накл}}) \cdot 10^{-3},$$

$$З_{\text{в}} = 405 \text{ тыс. руб.}$$

Общие затраты $З_{\text{об}}(t) = З_{\text{в}}(t) + З_{\text{в}}$.

Расчет срока службы НТТМ по критерию минимума затрат (рис. 4)

Издержки владения функции времени

$$З_{\text{вл}}(t) = [C_{\text{м}} / t + (З_{\text{стр}} + З_{\text{нал}} + З_{\text{хр}} + З_{\text{накл}})] \cdot 10^{-3}$$

Общие затраты $З_{\text{о}}(t) = З_{\text{вл}}(t) + З_{\text{в}}$.

$З_{\text{э}}$ — эксплуатационные затраты.

Вычисление оптимального срока эксплуатации по заданному максимуму удельной прибыли за жизненный цикл. Данный критерий

Рис. 4. Расчет сроков службы НТТМ по критерию минимума удельных затрат: а — годовых, тыс. руб./год ($t_{\text{ОПТ1}} = 7$ лет); б — за один час работы техники, тыс. руб./ч ($t_{\text{ОПТ2}} = 5$ лет) [10]; в — уровень рентабельности ($t_{\text{ОПТ3}} = 7$ лет) [11]

$t := 1,14$
Расчет суммы наработки

$$SΠ(n) := \begin{cases} t_1 \leftarrow 0 \\ \text{for } t \in 1 \dots n \\ t_1 \leftarrow t_1 + T(t) \end{cases}$$

Динамика удельной прибыли в зависимости от срока службы машины, тыс. руб./ч

Рис. 5. Результаты расчета в среде MATHCAD оптимального срока службы НТТМ при заданном максимуме удельной прибыли за срок службы

выражается как отношение между размером накопительной прибыли на момент времени t и общей прибылью от НТТМ за весь жизненный цикл [6, 11].

В среде MATHCAD произведен расчет оптимального срока службы при заданном параметре максимальной удельной прибыли (рис. 5).

Выводы

Выполнен расчет сроков службы наземной транспортно-технологической машины по следующим экономическим показателям:

- критериям минимума удельных затрат на единицу времени работы техники: а) годовых затрат (тыс. руб./год) — $t_{\text{опт1}} = 7$ лет; б) за один час работы техники (тыс. руб./ч) — $t_{\text{опт2}} = 5$ лет; в) максимальной удельной прибыли — $t_{\text{опт3}} = 7$ лет;
- кумулятивной прибыли за срок службы — $t_{\text{опт3}} = 7$ лет;
- требуемому уровню рентабельности — $t_{\text{опт4}} = 7$ лет;
- максимальной удельной прибыли — $t_{\text{опт5}} = 7$ лет.

Библиографический список

1. Бакаева Т. Я. Оптимизация сроков службы строительных машин. М.: НИИОУС, 1975. 20 с.
2. Бобобеков О. К. Оценка способов определения сроков службы и влияния капитального ремонта на продолжительность работы дорожно-строительных и коммунальных машин // Актуальные проблемы безопасности дорожного движения: материалы 69-й науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Актуальные проблемы современного строительства», 6–8 апреля 2016 г. СПб.: СПбГАСУ, 2016. С. 59–62.
3. Бобобеков О. К., Тошев Ч. III. Способы определения сроков службы и влияния капитального ремонта на долговечность наземных транспортно-технологических машин // Вестник МАДИ. 2016. № 4 (47). С. 74–78.
4. Бобобеков О. К. Анализ возрастной структуры парка наземных транспортно-технологических машин и их обновления (на примере Республики Таджикистан) // XII Междунар. конф. «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах», 28–30 сентября 2016 г. СПб.: СПбГАСУ, 2016. С. 747–754.
5. Грушецкий С. М. Прогнозирование периодичности ТО-2 коммунальных машин для содержания автомобильных дорог: дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2000. 155 с.

6. Евтюков С. А., Бобобеков О. К. Методы определения жизненных циклов и влияния капитального ремонта на долговечность дорожно-строительных и коммунальных машин // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 3 (56). С. 198–202.

7. Евтюков С. А., Репин С. В., Бобобеков О. К., Лутов Д. А. Принципы программно-целевого управления системы эксплуатации транспортно-технологических машин // Вестник Таджикского технического университета. 2016. № 1 (33). С. 41–46.

8. Колегаев Р. Н. Определение наивыгоднейших сроков службы машин. М.: Экономиздат, 1963. 226 с.

9. Колегаев Р. Н. Экономическая оценка качества и оптимизация системы ремонта машин. М.: Машиностроение, 1980. 239 с.

10. Репин С. В., Евтюков С. А., Зазыкин А. В., Рулис К. В. Надежность и эффективность эксплуатации транспортно-технологических машин. СПб.: ИД «Петрополис», 2017. 400 с.

11. Репин С. В., Евтюков С. С., Зазыкин А. В. Надежность и эффективность транспортно-технологических машин. СПб.: ИД «Петрополис», 2015. 84 с.

12. Селиванов А. И. Основы теории старения машин. М.: Машиностроение, 1971. 408 с.

13. Токарев Т. Г. Рациональные сроки службы автомобилей. М.: Автотрансиздат, 1962. 79 с.

14. Фролова М. В. Оптимизация сроков службы строительных машин. Хабаровск: Изд-во ХГТУ, 1998. 78 с.

15. Репин С. В., Рулис К. В., Зазыкин А. В., Ховалыг Н. К. Управление сроками службы машин в эксплуатации с помощью информационной автоматизированной системы // Вестник гражданских инженеров. 2009. № 1 (18). С. 85–94.

References

1. Bakaeva T. Ya. *Optimizatsiya srokov sluzhby stroitel'nykh mashin* [Optimization of service life of construction machines]. Moscow, NIIOUS Publ., 1975, p. 20.
2. Bobobekov O. K. *Otsenka sposob opredeleniya srokov sluzhby i vliyanie kapital'nogo remonta na prodolzhitel'nost' raboty dorozhno-stroitel'nykh i kommunal'nykh mashin* [Evaluation of the method of assessing the service life and the impact of the overhaul on the duration of road construction and municipal machines]. *Trudy 69-oy mezhvuzovskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh «Aktual'nye problem sovremennogo stroitel'stva»* [Proc. of the 69-th Int. scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists "Actual problems of modern construction"]. St. Petersburg, SPSUACE Publ., 2016, pp. 59–62.

3. Bobobekov O. K., Toshev Ch. Sh. *Sposoby opredeleniya srokov sluzhby i vliyaniya kapital'nogo remonta na dolgovechnost' nadzemnykh transportno-tekhnologicheskikh mashin* [Methods of assessing the service life and the impact of the overhaul on the durability of land transport-technological machines]. *Vestnik MADI – Bulletin of MADI*, no. 4 (47), 2016, pp. 74–78.
4. Bobobekov O. K. *Analiz vozrastnoy struktury parka nadzemnykh transportno-tekhnologicheskikh mashin i ikh obnoveniya (na primere Respubliki Tadzhikistan)* [Analysis of the age structure of the fleet of overground transport and technological machines and their renewal (on the example of the Republic of Tajikistan)]. *Trudy 12-oy Mezhdunarodnoy Konferentsii "Organizatsiya i bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya v krupnykh gorodakh"*, 28–30 sent. 2016 g. [Proc. of the XII International conf. "Organization and safety of traffic in large cities", 28–30 September, 2016]. St. Petersburg, SPSUACE Publ., 2016, pp. 747–754.
5. Grushetskiy S. M. *Prognozirovanie periodichnosti TO-2 kommunal'nykh mashin dlya sodержaniya avtomobil'nykh dorog*. Diss. kand. tekhn. nauk [Forecasting the frequency of TO-2 utility vehicles for maintenance of roads. PhD in Sci. Tech. diss.]. St. Petersburg, SPSUACE Publ., 2000, 155 p.
6. Evtyukov S. A., Bobobekov O. K. *Metody opredeleniya zhiznennykh tsiklov i vliyaniya kapital'nogo remonta na dolgovechnost' dorozhno-stroitel'nykh i kommunal'nykh mashin* [Methods of determining the life cycles and the impact of the overhaul on the durability of road-building and municipal machines]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2016, no. 3(56), pp. 198–202.
7. Evtyukov S. A., Repin S. V., Bobobekov O. K., Lutov D. A. *Printsipy programmno-tselevogo upravleniya sistemy ehkspluatatsii transportno-tekhnologicheskikh mashin* [Principles of program-target management of the system of operation of transport and technological machines]. *Vestnik Tadzhikskogo tekhnicheskogo universiteta – Bulletin of Tajik Technical University*, 2016, no. 1 (33), pp. 41–46.
8. Kollegaev R. N. *Opredelenie naivyygodneyshikh srokov sluzhby mashin* [Determination of the most suitable service life of machines]. Moscow, Ehkonomizdat Publ., 1963, 226 p.
9. Kollegaev R. N. *Ehkonomicheskaya otsenka kachestva i optimizatsiya sistemy remonta mashin* [Economic evaluation of quality and optimisation of the system repair]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1980, 239 p.
10. Repin S. V., Evtyukov S. A., Zazykin A. V., Rulis K. V. *Nadezhnost' i ehffektivnost' ehkspluatatsii transportno-tekhnologicheskikh mashin* [Reliability and efficiency of operation of transport and technological machines]. St. Petersburg, Petropolis Publ., 2017, 400 p.
11. Repin S. V., Evtyukov S. S., Zazykin A. V. *Nadezhnost' i ehffektivnost' transportno-tekhnologicheskikh mashin* [Reliability and efficiency of transport and technological machines]. St. Petersburg, Petropolis, 2015, 84 p.
12. Selivanov A. I. *Osnovy teorii stareniya mashin* [Fundamentals of the theory of aging machinery]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1971, 408 p.
13. Tokarev T. G. *Ratsional'nye sroki sluzhby avtomobiley* [Rational service life of the car]. Moscow, Avtotransizdat Publ., 1962, 79 p.
14. Frolova M. V. *Optimizatsiya srokov sluzhby stroitel'nykh mashin* [Optimization of service life of construction machines]. Khabarovsk, KhSTU Publ., 1998, 78 p.
15. Repin S. V., Rulis K. V., Zazykin A. V., Khovalyg N. K. *Upravlenie srokami sluzhby mashin v ehkspluatatsii s pomoshch'yu informatsionnoy avtomatizirovannoy sistemy* [Management service to operate with the help of the automated information system]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2009, no. 1(18), pp. 85–94.