

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ СРОКОВ СЛУЖБЫ МАШИН С ПРИМЕНЕНИЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Ларин П.Г., Ерофеев М.Н., Кравченко И.Н., Жуков Л.В.

Федерального государственного бюджетного военного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Военно-технический университет», Балашиха, Россия

Управление сроками службы машин, оборудования и других объектов основных фондов является одной из важнейших задач современной эксплуатации автомобильного транспорта, решаемых с применением новых методов и средств автоматизированных систем управления техническим состоянием. В статье предложена методика определения оптимальных сроков службы машин по надежности и технико-экономическим показателям, основанная на анализе динамики изменения показателей по времени. Показана практическая реализация методики в автоматизированной системе управления технической эксплуатацией машин, а также показана необходимость внедрения информационных систем управления, позволяющая обеспечить высокую управляемость процессов технического обслуживания и ремонта специальной техники.

Ключевые слова: специальная техника, система технической эксплуатации, информационная автоматизированная система управления, техническое обслуживание и ремонт, управление техническим состоянием.

METHODOLOGY OF DETERMINATION OF OPTIMAL TERMS OF SERVICE LIFE OF MACHINES WITH APPLICATION OF THE AUTOMATED INFORMATION CONTROL SYSTEM

Larin P.G., Erofeev M.N., Kravchenko I.N., Zhukov L.V.

Military Technical University, Balashikha, Russia

Management of the service lives of machinery, equipment and other fixed assets is one of the most important tasks of modern road transport exploitation solved with the use of new methods and means of the automated control systems of technical condition. In the article the technique of definition of optimum terms of service machines reliability and technical-economic indicators based on the analysis of dynamics of change of indicators in time. Shows the practical implementation of methods of the automated control system for technical maintenance of cars, and also the necessity of introduction of management information systems, allowing to provide high controllability of processes of maintenance and repair of special equipment.

Keywords: special equipment, the system of technical maintenance, automated information system management, maintenance and repair, control of their technical condition.

Управление сроками службы машин производится с целью получения заданных показателей функционирования парка специальной техники с учетом условий эксплуатации и системы обеспечения его работоспособности. Показатели могут быть надежностными (интенсивность отказов, коэффициент готовности) и технико-экономическими (объем выпущенной продукции, затраты, прибыль, рентабельность).

Значения показателей изменяются по мере старения техники. Так, наработка машин и коэффициент K_r готовности снижаются, а эксплуатационные затраты Z растут с интенсивностью порядка 1,5...4 % в год. Эти изменения достаточно хорошо (с адекватностью 0,88...0,92) описываются экспоненциальной зависимостью с параметром β , равным 0,012...0,048 год⁻¹ (параметр старения по наработке β_t и по затратам β_z) [1]:

$$K_{\Gamma}(t) = \frac{T_p(t)}{T_p(t) + T_H(t)} = \exp(-\beta_t t), \quad (1)$$

$$T_p(t) = T_0 K_{\Gamma}(t), \quad (2)$$

$$Z_{\text{пер}}(t) = Z_0 \exp(\beta_z t), \quad (3)$$

где $T_p(t)$, $T_H(t)$ – продолжительность периодов времени пребывания машины в работоспособном и неработоспособном состоянии;

$Z_{\text{пер}}(t)$ – переменная составляющая эксплуатационных затрат;

T_0, Z_0 – наработка и затраты за первый год работы новой машины;

t – возраст машины, год.

Параметры β_t и β_z зависят от качества изготовления техники, условий эксплуатации и уровня совершенства системы технической эксплуатации (СТЭ). Затраты имеют весьма сложную структуру. В упрощенном виде состав затрат на содержание и эксплуатацию парка машин можно представить выражением вида

$$Z(t) = \sum Z_i(t) = \sum \left\{ \left[A_i(t) + Z_i + Z_{\text{ПЭБ}} + Z_{\text{ВС}} + H_i + Z_{\text{пр}} \right] + \left[Z_{\text{ГСМ}}(t) + Z_{\text{ТОР}}(t) + Z_{\text{пер}} \right] \right\}, \quad (4)$$

где i – порядковый номер единицы техники в парке; $A_i(t)$ – амортизационные отчисления; Z_i – зарплата машинистов; $Z_{\text{ПЭБ}}$ – затраты на содержание производственно-эксплуатационной базы; $Z_{\text{ВС}}$ – отчисления в вышестоящую организацию, учредителям и т.п.; H_i – налоги; $Z_{\text{пр}}$ – прочие отчисления (на страховки, банковские проценты по кредитам, лизинговые платежи, разрешения, техосмотры и пр.); $Z_{\text{ГСМ}}(t)$ – затраты на горюче-смазочные материалы и рабочие жидкости; $Z_{\text{ТОР}}(t)$ – затраты на техническое обслуживание и ремонт, в том числе на запчасти и быстро изнашивающиеся части; $Z_{\text{пер}}$ – затраты на перебазировку техники.

Первое слагаемое выражения (4), в квадратных скобках, рассматривают как условно-постоянные затраты $Z_{\text{пост}}(t)$, не зависящие от количества выпущенной продукции (отработанных машино-часов) за расчетный период, но это не значит, что $Z_{\text{пост}}(t)$ не зависят от среднего возраста парка машин. Второе слагаемое – переменные затраты $Z_{\text{пер}}(t)$, возрастающие пропорционально объему продукции.

Прибыль $\Pi(t)$ представляет собой разницу выручки $V(t)$ и затрат $Z(t)$

$$\Pi(t) = V(t) - Z(t). \quad (5)$$

Выручка зависит от цены машино-часа и наработки $T_p(t)$

$$V(t) = \Pi_{\text{маш-ч}} T_p(t). \quad (6)$$

Оптимальный срок службы машины может быть определен по минимуму удельных

затрат, приходящихся на машино-час работы машины, максимуму удельной прибыли и заданному уровню рентабельности.

Удельные затраты, приведенные к машино-часу эксплуатации, определяются по формуле

$$z'(t) = \frac{Z_{\text{пост}}(t) + Z_{\text{пер}}(t)}{T_p(t)}. \quad (7)$$

Рассмотрим динамику накопленной за срок службы машины прибыли. По мере старения машины значение выручки будет снижаться, т.к. согласно формуле (2) уменьшится наработка машины в единицу времени. При этом затраты будут возрастать в соответствии с выражением (3). В течение срока службы суммарная выручка $SB(t) = \sum V(t)$ и суммарные затраты $SZ(t) = \sum Z(t)$ составят суммарную (накопленную) прибыль от эксплуатации машины (рис.1, а)

$$S\Pi(t) = -C_M + SB(t) - SZ(t). \quad (8)$$

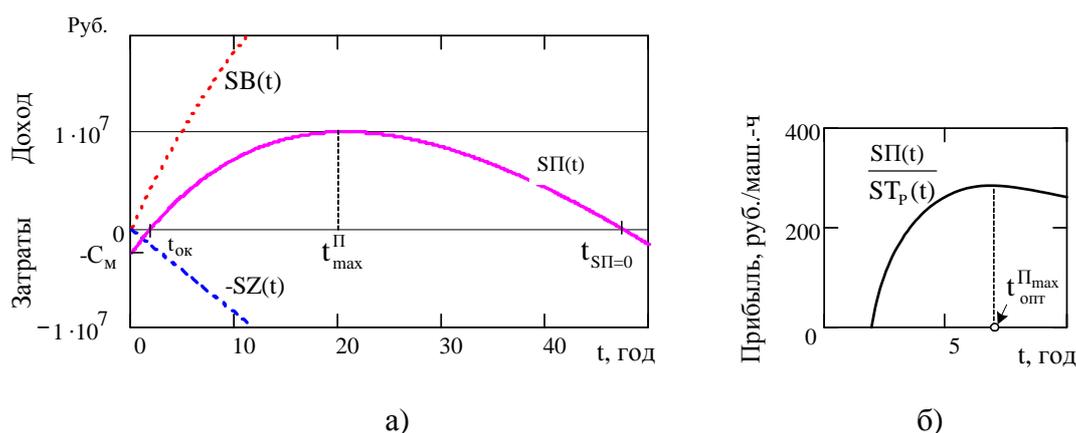


Рис.1. Динамика накопленной прибыли $S\Pi(t)$ (а) и удельной прибыли (б) за срок службы машины:

$SB(t)$, $SZ(t)$, $ST_p(t)$ – накопленные выручка, затраты и наработка; C_M – стоимость новой машины; $t_{ок}$ – срок окупаемости; t_{\max}^{Π} – срок службы по максимуму накопленной прибыли; $t_{S\Pi=0}$ – срок службы, при котором затраты на поддержание работоспособности машины «съедят» всю прибыль; $t_{\text{опт}}^{\Pi_{\max}}$ – оптимальный срок службы по максимальному удельной накопленной прибыли.

График суммарной прибыли $S\Pi(t)$ имеет четыре характерные точки в моменты времени: 0, $t_{ок}$, t_{\max}^{Π} и $t_{S\Pi=0}$. При $t=0$ $S\Pi(t) = -C_M$. До момента времени окупаемости $t_{ок}$ значение суммарной прибыли остается меньшим нуля. Максимум $S\Pi(t)$ достигает при t_{\max}^{Π} .

В этот момент становятся равными величины годовой выручки и затрат. Эксплуатация машины должна быть прекращена раньше времени t_{\max}^{Π} . Дальнейшее использование машины будет приносить убытки, и к моменту $t_{\Pi=0}$ затраты на поддержание работоспособности машины будут несоизмеримо большими.

Таким образом, оптимальный срок службы машины находится в интервале времени от $t_{\text{ок}}$ до t_{\max}^{Π} . Более конкретно можно прогнозировать оптимальный срок службы по модели динамики удельной накопленной прибыли (рис. 1, б).

Дополнительную информацию по выбору срока службы может дать анализ уровня рентабельности эксплуатации машины

$$R(t) = \Pi(t)/Z(t) \geq R_{\min}, \quad (9)$$

Модели определения сроков службы по минимуму удельных затрат и максимуму удельной прибыли (оптимальные значения примерно совпадают) целесообразно применять в случае наличия у эксплуатирующей организации средств для обновления парка машин. В этом случае можно выручить значительные суммы от продажи машины (рыночная стоимость снижается примерно на 20 % в год от текущего значения рыночной стоимости). Модель минимума уровня рентабельности применима для предприятий, испытывающих дефицит средств для приобретения новой техники.

Задавшись нижним значением R_{\min} , например 0,3 (рис. 2), получаем максимальный срок службы t_{\max}^R по условию нижнего предела уровня рентабельности, меньший t_{\max}^{Π} . Нетрудно заметить, что t_{\max}^R намного превышает оптимальный срок службы, рассчитанный по минимуму удельных приведенных к машино-часу затрат.

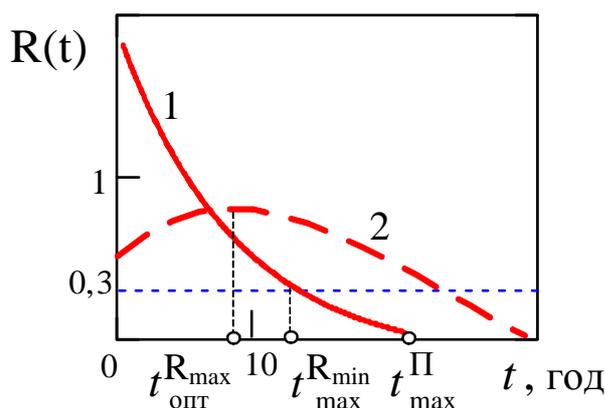


Рис. 2. Динамика уровня рентабельности за срок службы машины:

$t_{\max}^{R_{\min}}$ — максимальный срок службы по минимально допустимому уровню рентабельности R_{\min} ; $t_{\text{опт}}^{R_{\max}}$ — оптимальный срок службы по максимальному уровню рентабельности R_{\max} ;

линии 1 и 2 соответствуют равномерному и ускоренному (с коэффициентом два) методам расчета амортизационных отчислений.

Следует отметить, что срок службы машин определяется также требуемым уровнем работоспособности для выполнения заданной работы. Так, на менее ответственных объектах можно применять и менее надежную технику, и, наоборот, если при выполнении работы простои машины вследствие внезапных отказов чреваты серьезными экономическими или другими последствиями, то следует использовать более надежные машины. Тогда с учетом возможного экономического ущерба $Y(t)$ от простоев техники (или других видов ущерба, выраженных через экономический эквивалент) выражение (5) для прибыли будет выглядеть следующим образом:

$$П(t) = В(t) - Z(t) - Y(t) . \quad (10)$$

Процесс обновления парка машин включает в себя не только оптимизацию замены старых машин на новые. При этом возможна покупка машин, обладающих выгодным соотношением цена/качество, их замена на более производительные и т.д.[3].

Для управления сроками службы машин согласно предложенной методике необходимо учет большего количества данных: по наработке, простоям, динамике технического состояния машин, затратам материальных и финансовых ресурсов на обеспечение эксплуатации, рыночным ценам на технику, на проведение капитальных ремонтов и т.д. Сбор этих данных вручную, в бумажной форме, является весьма трудоемким, а в некоторых случаях не представляется возможным. Использование первичных средств автоматизации, например, электронные таблицы Excel, не позволяет организовать сбор информации от нескольких источников. Как правило, первоисточники необходимых данных находятся в различных подразделениях предприятия, территориально удаленных от головного офиса. Поэтому процессы сбора и обработки могут быть организованы только средствами автоматизированной системы управления технической эксплуатацией (ИАСУ УТС), обеспечивающей единое информационное пространство для всех участников УТС, независимо от места их расположения.

Комплекс TRIM является специализированным программным продуктом, ориентированным на нужды ремонтно-эксплуатационных служб предприятий транспорта, промышленности и энергетики, возможности которого позволяют реализовать информационную систему в масштабе всего предприятия, в том числе имеющего территориально удаленные филиалы. По западной классификации TRIM принадлежит к программным продуктам класса EAM (EnterpriseAssetManagement), предназначенным для управления процессами технического обслуживания, ремонта и эксплуатации оборудования,

техники, зданий и сооружений, инженерной инфраструктуры.

Таким образом, АСУ содержит: программные модули комплекса TRIM, осуществляющие планирование и учет мероприятий обеспечения работоспособности машин, расчет показателей в соответствии с методикой, оптимизацию процессов, в том числе и определения срока службы; электронный каталог запчастей, базы данных поставщиков продукции и услуг, заказчиков, персонала, рынка техники и т.д. Функционирование АСУ в целом представлено на рис. 3.

Рассмотрим основные функции автоматизированной системы управления, реализующие описанную выше методику определения сроков службы.

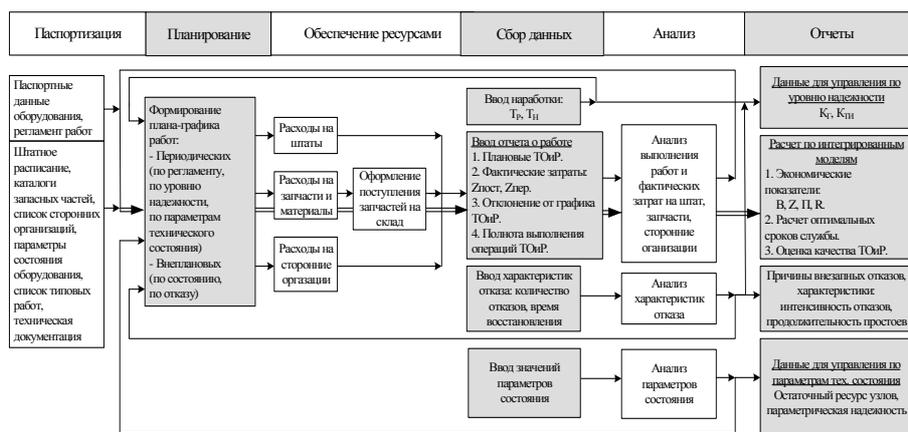


Рис. 3. Функциональная схема автоматизированной системы UTC

Основой для функционирования ИАСУ являются базы данных, содержащие информацию по запчастям и материалам каждой единицы техники, видам обслуживания и ремонта, имеющемуся ремонтному оборудованию, технической и ремонтной документации и т.д. База данных создается в АСУ UTC посредством механизмов ввода и обработки данных, предоставляемых программным продуктом TRIM. В итоге ее создания формируется дерево оборудования объектов технического обслуживания и ремонта (ТОиР). Если выделить какой-либо объект на таком дереве и открыть его свойства, то в появившейся форме будут отображаться как общие параметры объекта, так и присоединенные к объекту типовые работы по его обслуживанию и ремонту, используемые типовые запчасти, текущие значения счетчиков пробега и технические параметры, документация по данному объекту, привлекаемые к работам штатные единицы и т.д.

Поскольку к каждому объекту ТОиР подключены все регламентные работы по нему и необходимые для них ресурсы, то план предстоящих работ и потребность в запчастях и материалах формируются в АСУ автоматически (рис. 4).

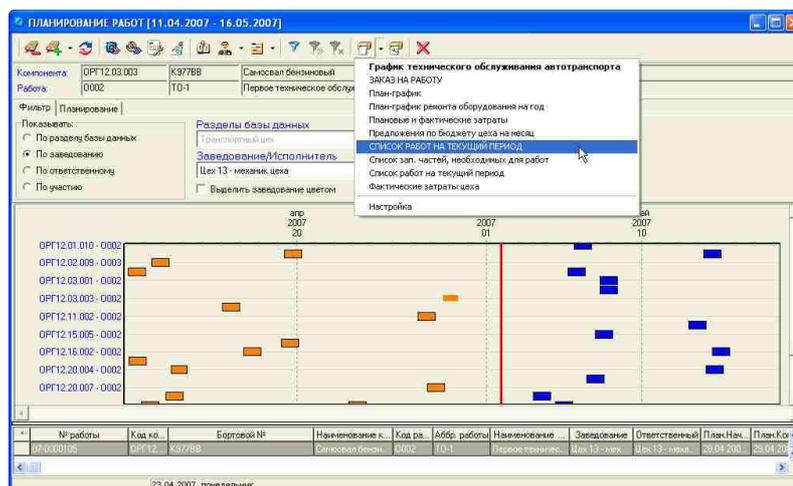


Рис. 4. План-график работ по ТОиР

В процессе работы АСУ УТС ведется учет пробега, выраженный в мото-часах (рис. 5), параметров технического состояния, выполненных работ и израсходованных ресурсов, наличия, исправности, простоев и времени полезной работы транспортных средств с отображением цепочек состояний каждого транспортного средства.

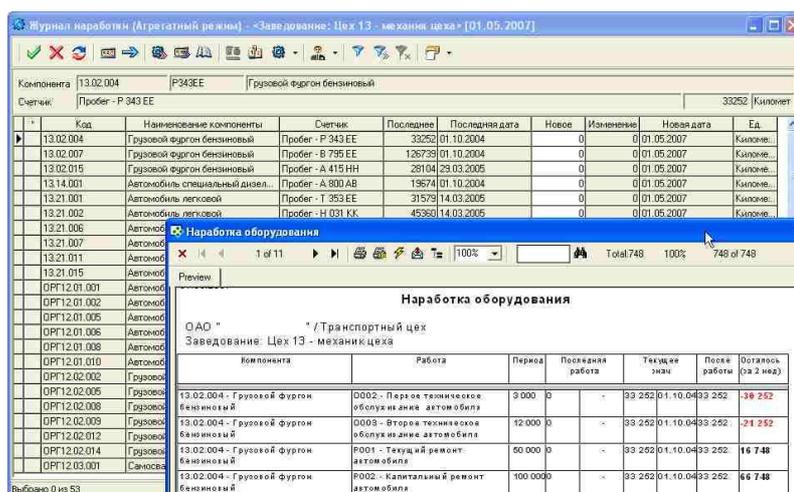


Рис. 5. Учет пробега транспортных средств в АСУ УТС

На основе накапливаемых данных с целью реализации предложенной методики, в АСУ УТС формируются аналитические формы, отражающие итоги, а также прогноз характеристик технической эксплуатации за заданный период времени, в заданном подразделении, по определенному виду техники и т.д. Например, на рис. 6 приведена форма, получаемая из АСУ УТС, в которой отражены прогнозные графики прибыли и затрат на эксплуатацию конкретной единицы техники.

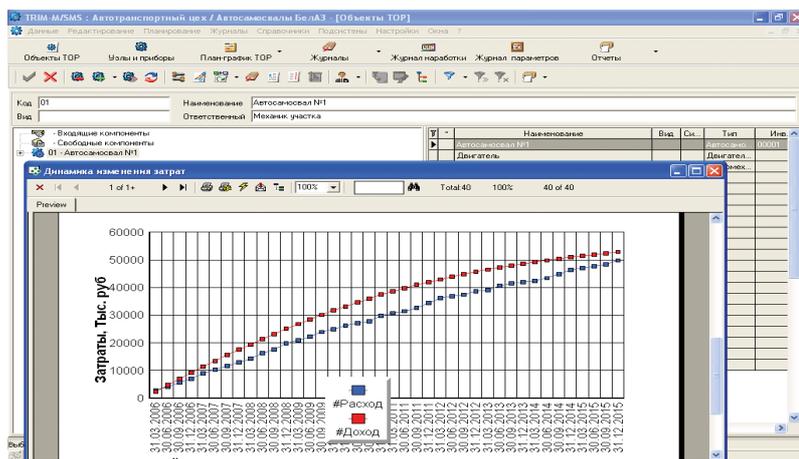


Рис. 6. Затраты и прибыль от эксплуатации техники

Заключение

Управление сроками службы машин, оборудования и других объектов основных фондов является одной из возможных задач, решаемых средствами АСУ УТС. При этом система может применяться и для других целей, например, для оптимизации структуры парка машин, контроля и повышения качества ТОиР, реализации методов их планирования, а также для минимизации организационных финансовых издержек и других задач. Предложенная система представляет собой не только программное обеспечение или базу данных, но и гибкий инструмент для совершенствования прогнозов эксплуатации специальной техники.

Список литературы

1. Ерофеев М.Н., Соколов И.В. Применение системы автоматизированного управления техническим состоянием и эксплуатацией строительно-технических систем // Научно-технический сборник: Вып.19. – Балашиха: ВТУ при Спецстрое России, 2010. – 38 с.
2. Разработка информационных баз техники для использования в автоматизированной системе управления техническим обслуживанием и ремонтом строительных машин /С.В. Репин, К.В. Рулис, А.В. Зазыкин, Н.К. Ховалыг // Международная электронная библиотека. – 2010. – 12 с, электронный ресурс: www.interlibrary.narod.ru
3. Репин, С.В. Оптимизация показателей надежности строительных машин в эксплуатации // Строительные и дорожные машины. – 2009. – № 5. – С. 28-31.
4. Репин, С.В. Концепция эффективности эксплуатации строительных машин // Строительные и дорожные машины. – 2009: № 2. – С. 27–31; № 4. – С. 21-25.
5. Разработка информационной автоматизированной системы управления техническим

обслуживанием и ремонтом строительных машин / С.В. Репин, С.А. Скакун // Строительные и дорожные машины. – 2009. – № 11.

Рецензенты:

Коломейченко А.В., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Ремонт и надежность машин» ФГБОУ ВПО «Орловский государственный аграрный университет», г.Орел.

Гайдар С.М., д.т.н., профессор кафедры «Ремонт и надежность машин» ФГБОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина», г.Москва.