

УДК 631.354.2.004.5

А. С. МАТВЕЕВФедеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Московский государственный университет природообустройства»**ВЕРОЯТНОСТНЫЕ МОДЕЛИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ПЕРИОДИЧНОСТИ РЕМОНТНО-ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ***Рассматриваются математические модели определения оптимальной периодичности технического обслуживания машин природообустройства по критерию минимума суммарных эксплуатационных затрат.**Математическая модель, отказы, ремонт, затраты, наработка, определение оптимальной периодичности технического обслуживания машин.**Mathematical models are under consideration for determination of the optimal frequency of the machinery technical maintenance of environmental engineering according to the criteria of the total operational cost minimum.**Mathematical model, failures, repair, cost, determination of the optimal frequency of the machinery maintenance.*

Значимым моментом в определении наработки при проведении ТО и ремонта является построение моделей затрат на ТО и текущий ремонт мелиоративной и строительной техники, которые подробно рассмотрены в учебном пособии В. С. Лукинского, Е. И. Зайцева, В. И. Бережного*.

Все модели определения наработок до проведения ремонтно-профилактических воздействий можно классифицировать следующим образом:

по типу применяемого критерия оптимизации — технические, экономические, технико-экономические (смешанные);

по алгоритму вычисления критерия — детерминированные, вероятностные.

по области существования стратегий — на ограниченном интервале наработки, без ограничения на наработку;

по размерности — одномерные, двухмерные (затраты — наработка, доход — затраты, параметр — наработка и т. п.), многомерные (доход — затраты — наработка и т. п.)

Тип модели определяется характером информационной базы, взятой за основу. Если главные факторы или параметры в модели представляют собой технические или технико-эксплуатационные величины, то такая модель может быть названа технической, а соответствующее критериальное уравнение, или критерий — техническим. К этому типу относятся, например, модели определения:

периодичности ТО по допускаемому уровню вероятности безотказной работы машин;

срока службы агрегата по параметру, характеризующему одно из предельных состояний (в частности, для двигателей — это повышенный расход масла, трудность запуска в холодное время, прорыв картерных газов и пр.);

потребности в ТО и ремонте по допустимому уровню значений коэффициентов готовности и выпуска;

потребности в капитальном ремонте машин по предельному состоянию агрегатов.

К экономическим относятся модели, в которых в качестве критерия используется какой-либо из экономических показателей. Из данных моделей наибольшее распространение получил

*Лукинский, В. С. Модели и алгоритмы управления обслуживанием и ремонтом автотранспортных средств [Текст] : учебное пособие / В. С. Лукинский, Е. И. Зайцев, В. И. Бережной. — СПб. : СПГИЭА, 1997. — 122 с.

класс с критерием в виде удельных затрат за единицу наработки.

Технико-экономические модели представляют собой обобщение двух предыдущих классов. Причем технические компоненты модели выступают в качестве ограничений, а экономические — как критерии оптимизации. Ограничениями могут быть требования к безотказности, экологической безопасности, экономичности, возможности модернизации.

Рассмотрим некоторые из вероятностных моделей определения оптимальной периодичности ТО по минимуму суммарных эксплуатационных затрат.

Модель 1. Определяет периодичность ТО по интенсивности отказов. В качестве допущения полагается, что периодичность наработки $L_{ТО}$ определяется на некоторой конечной наработке $L_{кр}$ (например, наработка до капитального ремонта) и при проведении ТО обеспечивается полное восстановление надежностных свойств машины. При этом суммарные затраты за наработку $L_{кр}$ будут равны:

$$S = (C_{то} + C_p n_p) n_{ц} - (C_{то} + C_p n_p) L_{кр} / L_{ТО}, \quad (1)$$

где $C_{то}$, C_p — средняя стоимость ТО и ремонта соответственно; n_p — число ремонтов (отказов) за наработку $L_{кр}$ между очередными ТО $1_{то}$; $L_{кр}$ — наработка до капитального ремонта; $n_{ц} = L_{кр} / L_{ТО}$ — число эксплуатационных циклов за наработку $L_{кр}$.

Число ремонтов n_p может быть определено через интенсивность отказов $l(L)$:

$$n_p = \int_0^{L_{ТО}} \lambda(L) \partial L = -\ln P(L_{ТО}). \quad (2)$$

Подставляя выражение для n_p в (1), получим модель для определения оптимальной периодичности ТО при возрастающей интенсивности отказов:

$$S = \left[C_{то} + C_p \int_0^{L_{ТО}} \lambda(L) \partial L \right] \cdot \frac{L_{кр}}{L_{ТО}} \rightarrow \min;$$

$$L_{кр} > L_{ТО} > 0.$$

Модель 2. Периодичность ТО определяем по условной плотности распределения наработок до отказа. При условиях и допущениях, принятых в первой модели, находим среднее количество ремонтов (отказов) за наработку $L_{ТО}$:

$$n_p = \frac{L_{ТО}}{L_{ОТК}},$$

где $L_{ОТК}$ — средняя условная наработка до отказа, определяемая по формуле

$$L_{ОТК} = \int_0^{L_{ТО}} L f_{ТО}(L) \partial L.$$

Условную плотность распределения $f_{ТО}(L)$ находим из исходной формулы:

$$f_{ТО}(L) = \frac{f(L)}{\int_0^{L_{ТО}} f(L) \partial L} = \frac{f(L)}{1 - P(L_{ТО})}.$$

Под условием в данном случае понимается полное восстановление потенциальной надежности всех узлов и агрегатов, не отказавших к моменту $L_{ТО}$.

Подставив в (1) окончательное выражение n_p , получим новую модель:

$$S = \frac{C_{то} L_{кр}}{L_{ТО}} + \frac{C_{то} L_{кр} [1 - P(L_{ТО})]}{\int_0^{L_{ТО}} L f(L) \partial L} \rightarrow \min. \quad (3)$$

Модель 3. Определяем вероятностный спрос на ремонты с мгновенным восстановлением. Оптимальное число ремонтных воздействий, установленное минимизацией суммарных затрат на заданной наработке L_k с учетом рисков пропуска отказов и выполнения лишних ТО, приравниваем к числу ТО за указанную наработку. Эта модель в своей основе близка к известным из теории управления запасами моделям управления при вероятностном спросе. Минимизируются суммарные издержки за наработку $L_{кр}$, которые определяются затратами на плановый ремонт S_p , профилактику $S_{ТО}$ и незапланированный аварийный ремонт $S_{ш}$, рассматриваемый как штраф за пропуск отказа:

$$S = S_p + S_{ТО} + S_{ш} \rightarrow \min. \quad (4)$$

Составляющие суммарных затрат (3) зависят от числа ремонтно-профилактических операций за наработку $L_{кр}$:

$$n = L_{кр} / L_{от},$$

где $L_{от}$ — наработка до отказа, определяемая плотностью распределения $f(L_{от})$, $L_{от} < L_{кр}$.

В силу случайности $L_{от}$ величина n с плотностью распределения

$$f(n) = \frac{-L_{кр}}{n^2} f\left(\frac{L_{кр}}{n}\right) \quad (5)$$

также будет случайной.

Используя $f(n)$ как весовую функцию и выражая составляющие суммарных затрат через соответствующие стоимости из (3), получим:

$$S = C_p n_p + \int_0^{n_p} C_{\text{ТО}} (n - n_p) f(n) \delta n + \\ + \int_{n_p}^{\infty} C_{\text{ш}} (n - n_p) f(n) \delta n \rightarrow \min,$$

где C_p — средняя стоимость предупредительного (планового) ремонта; $C_{\text{ТО}}$ — средняя стоимость контрольно-ремонтных операций (или убыток от недоиспользования ресурса замененных при ТО деталей); $C_{\text{ш}}$ — ущерб (штраф) от пропуска отказа или стоимость устранения аварийного отказа.

Очевидно, $C_{\text{ш}} > C_p$. Интеграл от (5) в пределах $[0 \dots n_p]$ соответствует риску выполнения лишних ТО (избыточность затрат на ТО), а интеграл в пределах $[n_p \dots \infty]$ — риску пропуска аварийных отказов. Решая задачу (3), находим оптимальное число ремонтов n_p за наработку $L_{\text{кр}}$ и далее, заменяя необходимый ремонт обслуживанием, при котором выполняется комплекс операций по предупреждению отказов, включая предупредительные замены деталей, получим:

$$L_{\text{ТО}} = L_k / n_p.$$

Значимым моментом в разработке стратегий управления обслуживанием и ремонтом мелиоративной и строительной техники является определение ресурсных характеристик автомобилей и их агрегатов, к которым относится наработка до капитального ремонта и до списания.

Выводы

Приведенная классификация моделей не является исчерпывающей. Она лишь отражает основное направление в развитии алгоритмов моделирования ремонтно-профилактических стратегий управления. Необходимо отметить многовариантность в формировании ремонтно-профилактических стратегий, обусловленную разнообразием моделей. Выбор модели, ее сложность, с одной стороны, определяют адекватность и точность расчетов, с другой стороны, требуют объемной и достаточно точной информации. Иными словами, требования, предъявляемые к точности и адекватности выполняемых расчетов, определяются потребностью в информации.

Материал поступил в редакцию 27.04.09.

Матвеев Александр Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология металлов и ремонт машин»

Тел. 8-916-964-57-09

E-mail: matveev80@ya.ru