

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕМОНТНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

Скрышников А. В., Кондрашова Е. В.

ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия», Воронеж, Россия (394087, Воронеж, ул. Тимирязева, 8), e-mail: rivelenasoul@mail.ru

Проведен анализ технической политики, которую необходимо использовать при эксплуатации ремонтно-пригодной техники на современном этапе развития экономических отношений, а именно – моделирование процесса ремонтного обеспечения элементов сельскохозяйственных машин. Предлагаемый подход основан на разработке новых концептуальных и рецептурных технических решений в связи с изменившимися экономическими и организационными условиями развития сельского хозяйства. Создана экономико-математическая модель, позволяющая определить наиболее приемлемые параметры ремонтной политики с точки зрения различных экономических условий и формировать парк машин, обеспечивающий заданную динамику обработки сельскохозяйственной продукции. При решении поставленной задачи используется метод статистических испытаний (метод Монте-Карло), позволяющий воспроизводить на имитационной модели случайный процесс появления отказов элементов машины по мере роста наработки и прослеживать последствия их упреждения за счет превентивных замен.

Ключевые слова: сельскохозяйственная машина, ремонт, отказ оборудования, техническое состояние.

MODELING OF PROCESS REPAIR FOR AGRICULTURAL MACHINERY

Skrypnikov A. V., Kondrashova E. V.

Voronezh State Forestry Academy, Voronezh, Russia (394087, Voronezh, street Timiryazeva, 8), e-mail: rivelenasoul@mail.ru

The analysis of technology policy to be used in the operation of repair and suitable equipment at the present stage of development of economic relations, namely the modeling of the process to ensure maintenance of agricultural machinery elements. The proposed approach is based on the development of new conceptual and technical solutions in the prescription due to the changed economic and organizational conditions for development of agriculture. An economic-mathematical model to determine the most appropriate maintenance policy options in terms of different economic conditions and create fleet, which provides the dynamics of a given processing agricultural products. In solving the problem using the method of statistical trials (Monte Carlo), can play on a simulation model of a random process the appearance of the machine component failures with increasing operating time, and track the consequences of their pre emption due to preventive replacements.

Keywords: Agricultural machine repair, equipment failure, the technical condition.

Введение. Сельскохозяйственные машины, в своем большинстве, используются на операциях, результаты которых можно оценивать в единицах товарной продукции или ее стоимостном эквиваленте. Это обстоятельство можно рассматривать как решающий аргумент в пользу оптимизации параметров стратегии ремонтного обеспечения этих машин по экономическому критерию. Особенно естественен такой подход в моделях профилактики, где приходится сопоставлять потери продукции из-за простоев машины по техническим причинам со стоимостью преднамеренно недоиспользованного запаса годности ее составных частей при их превентивных заменах (ремонтах) [1].

Теоретический анализ. Издержки, связанные со старением элемента, накоплением в нем усталостных и износных изменений, его ремонтным обеспечением являются функцией значительного числа переменных.

Во-первых, – это вероятность Q перехода рассматриваемого элемента из работоспособного в неработоспособное состояние к моменту t в заданных условиях использования.

$$Q = Q[t, Y(t), Y_n] \quad (1)$$

где $Y(t)$ – случайная функция, связывающая значение параметра состояния Y с наработкой (временем) t . Предполагается, что вид функции $Y(t)$ априорно известен, так же как и ее основные статистические параметры – математическое ожидание m_y и дисперсия σ_y^2 ; Y_n – значение функции Y , соответствует предельному состоянию элемента, характеризующему его отказ.

Во-вторых, экономические характеристики последствий отказа и процессов его предупреждения C .

$$C = C(C_{np}, C_s, C_k), \quad (2)$$

где C_{np} – потери от простоя машин в связи с отказом элемента; C_s – стоимость превентивной замены элемента; C_k – стоимость контроля. На данном этапе исследования стоимость контроля отдельно не учитывается, а включается в состав C_s .

Методика. Введем дополнительно характеристику относительной (нормированной) величины издержек при отказе в единицах и долях стоимости превентивной замены элемента.

$$C^0 = \frac{C_s + C_{np}}{C_s} = 1 + \frac{C_{np}}{C_s} = 1 + C_{np}^0 \quad (3)$$

Управление процессом ремонтного обеспечения машины, т.е. управление ее надежностью в эксплуатации характеризуется включением в этот процесс параметров, ответственных за контроль технического состояния, и принятие решений о предупредительной замене (ремонте, регулировке). Издержки, связанные с управлением, зависят как от управляющих параметров, так и от характеристик стохастического процесса старения. К ним можно отнести вероятность нахождения машины в работоспособном состоянии в момент контроля и принятия соответствующего решения:

$$P = P[Y(t), Y_n, Y_d, t_{конт}] \quad (4)$$

где Y_d – упреждающий допуск на предельное значение контролируемой переменной Y при превентивной замене элемента или в других терминах – допускаемая потеря запаса годности при такой замене $\Delta\Gamma$; $t_{конт}$ – наработка между операциями контроля; K_1, K_2, \dots, K_n – номер контроля.

В дальнейшем мы будем использовать относительные значения управляющих параметров, а именно:

$$\begin{aligned} Y_{\partial}^0 &= Y_{\partial} / Y_n; \\ m &= T / t_{\text{конт}} \\ \Gamma_{\partial}^0 &= \Gamma_{\partial} / \Gamma \end{aligned} \quad (5)$$

где m – срок службы элемента в единицах межконтрольной наработки; Γ_{∂}^0 – относительное допустимое использование запаса годности элемента; Γ_{∂} – запас годности элемента в момент контроля; Γ – возможный запас годности элемента на начало эксплуатации.

К характеристикам стохастического процесса старения, влияющим на величину издержек, связанных с управлением, можно отнести и экономические характеристики, связанные с превентивно осуществляемой заменой. Вычисление функции (4) сводится в теоретическом плане к решению задач о среднем числе выбросов n_a и n_p случайной функции $Y(t)$ за уровни Y_n и Y_{∂} для промежутка времени $t_{\text{конт}}$, являющегося периодически повторяющейся частью общего времени T использования элемента [1]. В общем виде это решение можно записать следующим образом:

$$\bar{v}_a = \int_0^{t_{\text{конт}}} \int_0^{\infty} v f(Y_{\partial}, V / t) dV dt, \quad (6)$$

где $V(t)$ – скорость изменения ординаты случайной функции $Y(t)$, $f(Y_{\partial} V / t)$ – двухмерный закон распределения ординаты случайной функции $Y = Y_{\partial}$ и ее производной в момент t .

Для нормальных стационарных процессов и в случае их независимости от взаимного влияния Y_n и Y_{∂} уравнение (6) решалось бы достаточно просто. Тогда для стационарного процесса можно записать:

$$\bar{v}_p = \int_0^{\infty} V f(Y_{\partial}, V) dV. \quad (7)$$

Для нормального процесса двухмерная плотность распределения вероятности $f(Y, V)$ распадается на произведение нормальных плотностей распределения для $Y_n V$, можно поэтому написать:

$$f(Y, V) = \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(y-\bar{y})^2}{2\sigma_r^2}} \frac{1}{\sigma_v \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{v^2}{2\sigma_v^2}}. \quad (8)$$

Подставляя (8) в (7), получим для среднего числа выбросов в единицу времени n_a и n_p :

$$\bar{n}_a = P(Y_n) = \frac{\sigma_v}{2\pi\sigma_Y} e^{-\frac{(Y_n - \bar{Y})^2}{2\sigma_Y^2}}, \quad \bar{n}_p = P(Y_\Delta) = \frac{\sigma_v}{2\pi\sigma_Y} e^{-\frac{(Y_\Delta - \bar{Y})^2}{2\sigma_Y^2}} \quad (9)$$

Однако в нашем случае вероятности $P(Y_n)$ и $P(Y_\Delta)$ зависимы друг от друга, а случайный процесс изменения параметра состояния не всегда подчинен нормальному закону. Кроме того, наличие дополнительного переменного параметра – периодичности контроля, значения которого влияют на вероятность нахождения элемента в исправном или в неисправном состоянии и оптимизация которого входит в круг решаемой задачи, делает аналитическое решение чрезвычайно сложным и едва ли выполнимым делом. К этому добавляются трудности с вычислением n_a и n_p как аналогов временной плотности выбросов случайной функции Y за уровни Y_Δ и Y_n во всем периоде T_c использованием функции восстановления. Все это серьезно усложняет математическую модель и расчеты. Поэтому будем подсчитывать издержки за весь период T в предположении, что замены осуществляются только на новые элементы. Для детали машины это допущение естественно, для машины как элемента в дальнейшем будет снято.

Общее число превентивных замен элементов, не отказавших за период T , можно выразить интегральным уравнением Вольтерра второго рода, именуемым в теории надежности функцией восстановления [2, 3]:

$$H_1(T) = F_1(T) + \int_0^{t=T} H_1(t - \tau) f_1(t) d\tau, \quad (10)$$

где $H_1(T)$ – среднее число превентивных замен за время T ; $F_1(T)$ – функция распределения времени до превентивной замены; $f_1(t) = \frac{dF_1}{dt}$; τ – переменная интегрирования.

Соответственно затраты, связанные с превентивными заменами за период T , запишутся тогда так:

$$W_1 = H_1(T) C_s. \quad (11)$$

Аналогично, общее число замен элементов, отказавших за период T , будет равно:

$$H_2(T) = Q(T) + \int_0^{t=T} H_2(t-\tau) f_2(t) d(\tau) \quad (12)$$

а затраты, связанные с их заменой:

$$W_2 = H_2(T)(C_s + C_{np}). \quad (13)$$

Складывая W_1 и W_2 и переходя к нормированным и удельным значениям, получим суммарные удельные издержки за период T в виде:

$$W_{уд}^0 = \frac{H_1(T) + H_2(T)(1 + C_{np}^0)}{T}. \quad (14)$$

Сочетание управляющих параметров Y_n^0 и m^* , при котором величина $W_{уд}^0$ достигает минимума, будем называть оптимальными параметрами управления техническим состоянием элемента в соответствии со стратегией технического обслуживания и ремонта машин «по состоянию», при задаваемых значениях C_{np}^0 и известных характеристиках естественного (неуправляемого) процесса изменения его состояния. Аналитическое решение поставленной задачи, учитывая входящие в ее описание случайные функции и интегральные уравнения, как было уже сказано, едва ли возможно, а на фоне широко распространенной вычислительной техники и нецелесообразно. Продуктивнее использовать численные методы.

Экспериментальная часть. Мы остановились на наиболее естественном для решения таких задач методе статистических испытаний (методе Монте-Карло), позволяющем воспроизводить на имитационной модели случайный процесс появления отказов элементов машины по мере роста наработки и проследивать последствия их упреждения за счет превентивных замен [4, 5].

Случайная функция состояния $Y(t)$ задается ее математическим ожиданием $\bar{Y} = V_c t^a$ и плотностью распределения интенсивности (квазискорости) изменения параметра состояния (интенсивности потери годности элемента машины) $\varphi(V_c)$.

Параметрами этой функции являются: среднее значение интенсивности изменения функции состояния $V_c = 1$; коэффициент вариации интенсивности изменения функции

состояния $V_{V_c} = \frac{V_c^\sigma}{V_c}$, значения которого изменяются в интервале 0,2...0,4 через 0,1;

Параметр, $a=1 \dots 2$, шаг изменения которого равен 0,1; наработкой до j -го контроля в i -ой реализации $t_{контji}$.

Рассмотрим:

- событие A_i с параметрами $Y_i \geq Y_n, Y_i < Y_\Delta$, при $t_{\text{кон}tji}, j = 1, \dots, m$;
- событие $B_j: Y_i < Y_n$ и $Y_i \geq Y_\Delta$ при $t = t_{\text{кон}tij}, j = 1, \dots, m$.

Наработка до события A или B в i -ой реализации обозначим как t_{ABi} . Задача состоит в отыскании оптимального значения состояния элемента Y_Δ^* , при котором затраты, связанные с превентивными заменами отказавших элементов на единицу рабочего времени, будут минимальными:

$$Y_\Delta^\bullet \text{ при } \sum_{i=1}^{n,m} \frac{W}{T} \rightarrow \min,$$

где n – число реализаций; m – число межконтрольных периодов.

При моделировании $Y_{II} = 1, T = 1, a, V_c$ параметры задаются в определённом интервале. Аргументы C_p^o и m варьируются. Определяются:

– число аварийно замененных элементов $\frac{n_a}{T}$;

– число профилактически замененных элементов $\frac{n_p}{T}$ в расчете на единицу наработки

функции в функции Y_Δ и $t_{\text{конт}t}$;

– суммарные удельные издержки $W_{y\Delta}^o = \frac{\sum W}{T}$ на единицу наработки в C_{np}^o и m ;

– нормированное оптимальное значение состояние элемента $Y_\Delta^{o\bullet} = \frac{Y_\Delta^\bullet}{Y_n} = f(C_{np}^o, m)$.

Если A , то $W = C_S + C_{np}^o$; если B , то $W = C_S$; если $t_{A,B} \leq T$, то $Y_i = V_{ci}t^a$.

Вывод. Проведенный анализ указывает на необходимость существенной корректировки технической документации на техническое обслуживание и ремонт сельскохозяйственной техники в части допустимых при ремонте размеров и вообще любых параметров состояния, нормативные значения которых были оптимизированы в экономических условиях, существенным образом отличающихся от нынешних.

Список литературы

1. Скрыпников А. В. Оптимизация межремонтных сроков лесовозных автомобильных дорог [Текст] / А. В. Скрыпников, Е. В. Кондрашова, Т. В. Скворцова // Фундаментальные исследования. – М., 2011. – № 8 (ч. 3). – С. 667-671.
-

2. Информационные технологии для решения задач управления в условиях рационального лесопользования [Текст]: монография / А. В. Скрыпников, Е. В. Кондрашова, Т. В. Скворцова, А. И. Вакулин, В. Н. Логачев. – Воронеж, 2011. – 127 с. – Деп. в ВИНТИ 26.09.2011, № 420-2011.
3. Скрыпников, А. В. Алгоритм поиска оптимального транспортного плана с оптимизацией вывозки лесопродукции [Текст] / А. В. Скрыпников, Е. В. Кондрашова, Т. В. Скворцова // Вестник КрасГАУ. Красноярск, 2011. – № 9. – С. 34-41.
4. Методы, модели и алгоритмы повышения транспортно-эксплуатационных качеств лесных автомобильных дорог в процессе проектирования, строительства и эксплуатации [Текст]: монография / А. В. Скрыпников, Е. В. Кондрашова, Т. В. Скворцова, А. И. Вакулин, В. Н. Логачев. – М.: Издательство ФЛИНТА: Наука, 2012. – 310 с.
5. Повышение безопасности движения автомобилей и автопоездов по дорогам в районах лесозаготовок [Текст]: монография / А. В. Скрыпников, Е. В. Кондрашова, Т. В. Скворцова, В. Ю. Губарев, А. Б. Киреев. – Воронеж, 2012. – 109 с. – Деп. в ВИНТИ 22.11.11, № 507В2011.

Рецензенты:

Подольский Владислав Петрович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительства и эксплуатации автомобильных дорог ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный архитектурно-строительный университет», г. Воронеж.

Устинов Юрий Фёдорович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры инженерной механики и строительной техники ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный архитектурно-строительный университет», г. Воронеж.