

стического моделирования передового опыта воспроизводства и заготовки леса. В связи с этим следует от априорных многокритериальных моделей оптимизации перейти к апостериорным, а в дальнейшем и к адаптивным, в которых принцип оптимальности будет задаваться неявно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Баринов К. Н., Александров В. А. Проектирование лесопромышленного оборудования.—Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1988.—238 с. [2]. Варава В. И. Моделирование технологических процессов лесохозяйственных машин: Учеб. пособие.—Л.: ЛТА, 1992.—173 с. [3]. Гаврилова Г. А., Червинская К. Р. Извлечение и структурирование знаний для экспертных систем.—М.: Радио и связь, 1992.—200 с. [4]. Жуков А. В. Проектирование лесозаготовительного оборудования: Учеб. для вузов.—Мн.: Выш. шк., 1990.—312 с. [5]. Мазуркин П. М. Эвристический регрессионный анализ природохозяйственных явлений и процессов / Марийск. политех. ин-т.—Йошкар-Ола, 1989.—316 с.—Деп. в ВНИПИЭИлеспром, № 2554-лб89. [6]. Меньшиков В. Н. Основы технологии заготовки леса с сохранением и воспроизводством природной среды.—Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1987.—220 с. [7]. Орлов С. Ф. Теория и применение агрегатных машин на лесозаготовках.—М.: Гослесбумиздат, 1963.—271 с. [8]. Перспективные технологические процессы и техника к системе машин для комплексной механизации лесозаготовительного производства на 1991—2000 гг.: Предложения Минлеспрома СССР / Рук. В. П. Немцов.—М.: ВНИОлеспром, 1990.—196 с. [9]. Полетайкин В. Ф. Проектирование лесопромышленного оборудования: Учеб. пособие / Краснояр. политех. ин-т.—Красноярск, 1984.—120 с. [10]. Проектирование специальных лесных машин: Учеб. пособие / С. Ф. Орлов и др.—Л.: ЛТА, 1975.—220 с. [11]. Рабочая книга по прогнозированию / Отв. ред. И. В. Бестужев-Лада.—М.: Мысль, 1982.—430 с. [12]. РД 50-538—85. Методические указания. Система разработки и постановки продукции на производство. Порядок разработки аванпроекта для создания новой продукции.—Введ. 01.01.86.—М.: Изд-во стандартов, 1985.—9 с. [13]. Реймерс Н. Ф. Природопользование: Словарь-справочник.—М.: Мысль, 1990.—637 с. [14]. Системы автоматизированного проектирования: Типовые элементы, методы и процессы / Под ред. Д. А. Аветисяна.—М.: Изд-во стандартов, 1985.—180 с. [15]. Современный синтез критериев в задачах принятия решений.—М.: Радио и связь, 1992.—120 с.

Поступила 9 ноября 1993 г.

УДК 630*36.001.573

В. И. КУЧЕРЯВЫЙ

Ухтинский индустриальный институт

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕСУРСА ДЕТАЛЕЙ ЛЕСНЫХ МАШИН ПО КРИТЕРИЮ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ

Методом статистического моделирования на ПЭВМ найдено распределение числа циклов до разрушения по детерминированному выражению скорости роста трещины для случая, когда амплитуда пульсационного цикла напряжений нормально распределена. Моделирование выполнено на примере оценки ресурса сучкорезной головки машины ЛП-30Б.

By the method of statistic simulation on PC there has been found the distribution of cycles number prior to failure by the determined expression of the crack growth rate for a case when the amplitude of voltage pulsing cycle is normally distributed. The simulation is performed on the estimation example of delimiting head resource of LP-30B machine.

Оценка ресурса деталей лесных машин, металлоконструкций технологического оборудования, имеющих сварные швы, может быть выполнена на основании уравнения скорости роста трещины. Принимаем, что деталь испытывает циклические напряжения, которые изменяются

от 0 до σ_{\max} . Скорость роста трещины (мм/цикл) определяется выражением (формула Пэриса — Эрдогана):

$$dl/dN = 10^{-8} (\Delta K)^2, \quad (1)$$

где l — полудлина трещины;
 N — число циклов до разрушения детали (ресурс);
 ΔK — интервал изменения коэффициента интенсивности напряжений при циклическом нагружении.

На основании зависимости между ΔK , σ_{\max} и l [1], выражающейся формулой $\Delta K = \sigma_{\max} \sqrt{\pi l}$, запишем уравнение (1) в виде

$$dl/dN = 10^{-8} \pi \sigma_{\max}^2 l. \quad (2)$$

Проинтегрировав (2) от начального значения полудлины трещины l_0 до ее критической полудлины l_c , получим ресурс в детерминированном виде:

$$N = [10^8 / (\pi \sigma_{\max}^2)] \ln (l_c / l_0). \quad (3)$$

По совокупности однотипных деталей из-за неровностей поверхности транспортных путей σ_{\max} — величина случайная, следовательно, N — нелинейная функция одного случайного аргумента (СА). Допустим, что σ_{\max} в (3) имеет нормальное распределение. Известны математическое ожидание (МО) — $\bar{\sigma}_{\max}$ и стандартное отклонение (СО) — S .

Применив к (3) метод преобразования функции одного СА, получим теоретическую плотность вероятности (ПВ) для N :

$$p(N) = (1/2) \sqrt{A/N^3} (\sqrt{2\pi}S)^{-1} \{ \exp [- (\sqrt{A/N} - \bar{\sigma}_{\max})^2 / (2S^2)] + \exp [- (\sqrt{A/N} + \bar{\sigma}_{\max})^2 / (2S^2)] \}, \quad (4)$$

где

$$A = 10^8 \ln (l_c / l_0).$$

Чтобы найти МО и дисперсию ресурса N исходя из формул (3) и (4), используем численное интегрирование. Для нахождения распределения N по (3) и вычисления МО и СО применим численный метод — статистическое моделирование [2], реализация которого возможна только на ПЭВМ. Для этого написана программа (язык Турбо-Бейсик).

Рассмотрим порядок алгоритма. С помощью оператора $RND(x)$ генерируется последовательность статистически независимых чисел $\{r_i\}_n$, равномерно распределенных на отрезке $[0, 1]$. Для моделирования σ_{\max} по нормальному закону вначале попарно вычисляется последовательность нормированных нормальных случайных чисел (среднее ноль, СО равно 1) на основании соотношений:

$$\begin{aligned} z_i &= (-2 \ln r_i)^{1/2} \cos(2\pi r_{i+1}); \\ z_{i+1} &= (-2 \ln r_i)^{1/2} \sin(2\pi r_{i+1}), \end{aligned} \quad (5)$$

где $i = 1, 3, 5, \dots$,

а затем используется линейное преобразование:

$$\{\sigma_{\max i}\}_n = \bar{\sigma}_{\max} + \{z_i\}_n S, \quad (6)$$

где n — общее число реализаций (объем выборки).

Возможные значения σ_{\max} , найденные по (5) и (6), подставляются в (3). В результате образуется случайная последовательность (СП) числа циклов до разрушения $\{N_i\}_n$, которая затем подвергается статистической обработке в целях получения теоретического распределения N .

Выполним реализацию алгоритма. Примем, что в корпусе сучко-резной головки (СГ) машины ЛП-30Б обнаружена трещина полудлиной $l_0 = 0,5$ мм. Требуется найти распределение числа циклов до разрушения (ресурс СГ), если полудлина трещины достигнет критического значения $l_c = 45$ мм. Параметры амплитуды цикла напряжений: $\bar{\sigma}_{\max} = 55$ МПа, $S = 4,4$ МПа. По этим данным на ПЭВМ сгенерирована СП $\{N_i\}_n$, размером $n = 1000$ значений. Смоделированные данные проверяли на согласие по критерию χ^2 по следующим теоретическим распределениям: β -, χ^2 -, Эрланга, показательному, Фишера, γ -, логнормальному, нормальному, Стьюдента, треугольному, равномерному на интервале, Вейбулла. Наибольшая вероятность согласия $\beta = 0,203$ получена для логнормального распределения, она выше допускаемой 0,05. Критерий $\chi^2 = 16,9$ при числе степеней свободы 13. Выборочные числовые характеристики ресурса СГ равны: $\bar{N} = 48\,228,6$; $S_0 = 7691,8$. Результаты моделирования представлены в таблице. Смоделированное логнормальное распределение для N является статистическим аналогом теоретического распределения (4).

Параметры логнормального закона определяются по формулам

$$\bar{N}_* = 2 \ln \bar{N} - (1/2) \ln (S_0^2 + \bar{N}^2); \quad (7)$$

$$S_* = \sqrt{\ln (S_0^2 + \bar{N}^2) - 2 \ln \bar{N}}. \quad (8)$$

Вероятность безотказной работы СГ записывается в виде

$$R(N) = \text{Prob}(z > (\ln N - \bar{N}_*)/S_*), \quad (9)$$

а интенсивность отказов

$$h(N) = \varphi [(\ln N - \bar{N}_*)/S_*] / [NS_* R(N)], \quad (10)$$

где z — нормированная нормальная случайная величина;
 φ — ее плотность.

При значениях N и S по (7) и (8) вычислены $\bar{N}_* = 10,77$; $S_* = 0,163$. По (9) и (10) найдены показатели надежности корпуса СГ при двух наработках ($N_1 = 32\,000$ и $N_2 = 64\,000$). Получено: $R(N_1) = 0,99245$; $h(N_1) = 4,4 \cdot 10^{-6}$ отказа в единицу времени; $R(N_2) = 0,0348$, $h(N_2) = 221,6 \cdot 10^{-6}$ отказа в единицу времени. При извест-

Число циклов N до разрушения		Частота		χ^2
Нижняя граница	Верхняя граница	смоделированная	теоретическая	
< 32 000,00	32 000,00	5	6,1	0,183
32 000,00	34 666,67	9	16,5	3,395
34 666,67	37 333,33	34	39,7	0,814
37 333,33	40 000,00	83	73,2	1,310
40 000,00	42 666,67	120	108,4	1,231
42 666,67	45 333,33	143	133,9	0,621
45 333,33	48 000,00	139	141,9	0,059
48 000,00	50 666,67	130	132,2	0,038
50 666,67	53 333,33	110	110,5	0,002
53 333,33	56 000,00	77	84,2	0,613
56 000,00	58 666,67	56	59,2	0,176
58 666,67	61 333,33	38	38,9	0,022
61 333,33	64 000,00	21	24,1	0,405
64 000,00	66 666,67	9	14,2	1,911
66 666,67	69 333,33	10	8,0	0,494
> 69 333,33	—	16	8,9	5,650