

Прогнозирование долговечности лезвий стрельчатых лап культиваторов

Т.Ф. Ахметшин, к.т.н., Уфимский ГАТУ

За критерии предельного износа стрельчатых лап культиваторов принимают изменение или невозможность выполнения ими заданных функций. Если предельный износ является критерием отказа или предельного состояния по ГОСТу 27.002 и указан в нормативной и (или) технической документации, то дополнительной регламентации предельных величин износа этих элементов не требуется [1]. При установлении предельного износа составных частей изделия следует учитывать влияние изнашиваемого элемента на работоспособность самого элемента.

Если величину предельного износа необходимо определить либо прогнозировать долговечность изделия или элемента изделия, то для этого по результатам испытаний должны быть известны или определены: вид случайного процесса изнашивания и скорость изнашивания, срок службы изделия, предельная величина износа элемента изделия, лимитирующего долговечность [2].

Принимается, что износ лезвий стрельчатых лап культиваторов носит детерминированный однородный характер (рис. 1). Для этого процесса $\xi(t) = Q_0 + ht$, где Q_0 – const, величина начального износа, h – интенсивность изнашивания.

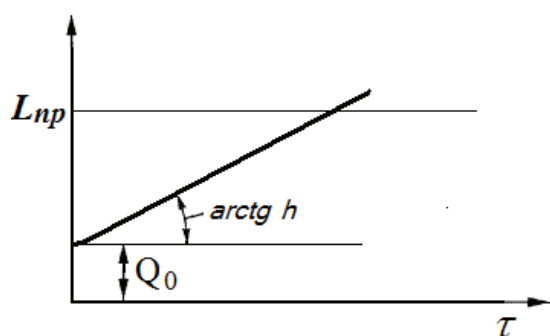


Рис. 1 – Детерминированный однородный вид случайного процесса изнашивания

Предельный износ $L_{np} = Q_0 + hT$, где T – продолжительность работы изделия.

На этапе проектирования технической системы следует осуществить оптимизацию структуры и подобрать оптимальные значения параметров, учитывая требования обеспечения надёжности (долговечности). Их подбор можно осуществить путём статистического моделирования. С этой целью следует построить статистическую модель системы, которая как можно лучше отображала бы её структуру надёжности, а также характер функционирования элементов при принятых внешних условиях.

В наиболее общем случае процедура статистического моделирования состоит в том, что определённые и генерированные ряды цифр, моделирующие отдельные случайные переменные X , вводятся в математическую модель функции $T=f(X_i)$, которая будет описывать долговечность триботехнической системы. Для выбранной модели $T=f(X_i)$ проводятся вычисления переменной T , а в дальнейшем осуществляется статистическая обработка результатов моделирования [3].

Статистическое моделирование параметров долговечности и надёжности базируется на методе Монте-Карло. Статистическое моделирование методом Монте-Карло позволяет манипулировать большой совокупностью данных, определять логическую структуру модели и выполнять математические операции.

При решении практических задач по обеспечению и оценке показателей долговечности стрельчатых лап культиваторов аналитические расчёты оказываются весьма трудоёмкими либо ими вообще нельзя пользоваться. В этих случаях поставленные задачи удобно решать моделированием на ЭВМ.

Предположим, что стрельчатая лапа имеет минимальную функционально необходимую структуру (т.е. резервирование отсутствует), а элементы в изделии с точки зрения надёжности соединены последовательно (рис. 2).

При имитационном моделировании в памяти ЭВМ для каждого элемента с учётом его закона распределения времени (наработки) до отказа получают случайное значение времени до отказа t_i , $i = 1, \dots, n$. С учётом принятой модели (рис. 2) считают, что отказ лапы в j -й реализации наступает при отказе хотя бы одного из n элементов. Поэтому за момент (время) отказа всего рабочего органа в j -й реализации принимают минимальное случайное время до отказа, $i = 1, \dots, n$, полученное для i -го элемента в j -й реализации стрельчатой лапы. Таким путём получают N реализаций стрельчатых лап и, следовательно, N значений времени до отказа лапы в целом t_i^j , $j = 1, 2, \dots, N$.



Рис. 2 – Последовательное соединение элементов в стрельчатой лапе (n – количество элементов)

Количественные показатели надёжности определяют путём статистической обработки всех N значений времени до отказа стрельчатых лап t_j , $j = 1, \dots, N$.

При статистическом моделировании износа элементов стрельчатых лап культиваторов принимается, что процесс изнашивания является стохастическим.

ческим процессом, а отдельные параметры, которые его описывают, являются случайными переменными с заданными законами распределения. В этом случае метод Монте-Карло состоит в генерировании случайных чисел значений аргументов с распределением, соответствующим данному параметру. Потом проводится вычисление величины заданной функции, аргументы которой были генерированы. Этот цикл повторяется произвольное число раз, причём возрастание их количества позволяет провести более точную оценку износа.

Реализован вариант моделирования, когда величины начального износа Q_i и интенсивности изнашивания h_i для каждого фрагмента лезвий вычислялись как сумма свободных членов и угловых коэффициентов прямых регрессий, т.е.

$$Q_i = \frac{1}{n} \left(\sum_{j=1}^k h_j(t_i) - h_i \sum_{i=1}^k t_i \right),$$

$$h_i = \frac{n \sum_{i=1}^k t_i h_j(t_i) - \left(\sum_{i=1}^k t_i \right) \left(\sum_{i=1}^k h_j(t_i) \right)}{n \sum_{i=1}^k t_i^2 - \left(\sum_{i=1}^k t_i \right)^2}.$$

Моделирование проведено на основании лабораторных исследований лезвий стрельчатых лап культиваторов путём изнашивания их на машине «Вращающаяся чаша» (ВЧ-1М). Машина ВЧ-1М позволяет моделировать взаимодействие рабочих органов с почвой и обеспечивает высокую точность оценки параметров лезвия.

Фрагменты для испытаний вырезались из рабочих органов с таким расчётом, чтобы при испытаниях они могли располагаться под реальным углом раствора (рис. 3).

Основные элементы испытаний на машине ВЧ-1М были приняты в соответствии с рекомендациями [4].

В шести моментах времени $\{t_i, i = 0, 1, 2, 3, 4, 5\}$, приблизительно отвечающих пути трения стрельчатых лап, 0 м (после приработки фрагментов), 2000, 4000, 6000, 8000 и 10000 м, регистрировалась

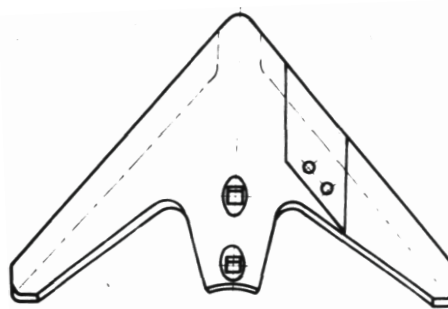


Рис. 3 – Схема профиля фрагментов стрельчатых лап культиваторов для испытания на машине ВЧ-1М

величина линейного износа лезвий $W(0, l_i)$. Число замеров контролируемых параметров $n = 6$.

Были проведены испытания пяти фрагментов ($m = 5$) стрельчатых лап культиваторов, изготовленных в Российской Федерации. По формулам (1) были определены значения величин h_i и Q_i .

Статистика описания начального износа и интенсивности изнашивания как случайных переменных для лезвий фрагментов представлена в таблице.

На рисунке 4 представлены диаграммы изнашивания лезвий и способ определения флуктуации ($A_z, \psi_4, \psi_6, \psi_8, \psi_{10}$). Длина пути нижней границы интенсивности износа $i_A = t_1 = 1 \cdot 10^3$ м.

Проведенный анализ экспериментальных данных показывает, что при статистическом моделировании долговечности лезвий стрельчатых лап культиваторов флуктуацию интенсивности изнашивания необходимо учитывать. Нестабильность рассматриваемого показателя лезвий опытных фрагментов колеблется в пределах от 1,6 до 29,2%.

На основе модели, представленной выше, разработана компьютерная программа вычислений износа при статистическом моделировании, а на рисунке 5 приведена её блок-схема.

Каждая реализация хода (процесса) изнашивания определяет один цикл вычислений, состоящий из n шагов вычислений. Группа m циклов при одних и тех же начальных условиях является принятым вариантом вычислений. В программе

Результаты испытаний фрагментов лезвий на машине ВЧ

Фрагмент, №	Пройденный путь (наработка), t , м					Q_i , мм	h_i , мм/ 10^3 м	$\alpha = \arctg h_i$, градус	$A_z = (W_{\max} - W_{\min}) / \cos \alpha$	$A_z \sin \left[\frac{2\pi}{\theta} t_i + \Phi_h \right]$	$\Sigma \Delta \Psi_i(t_i)$
	$2 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^3$	$6 \cdot 10^3$	$8 \cdot 10^3$	$10 \cdot 10^3$						
	Величина износа, W , мм										
1	0,35	0,70	1,30	1,50	2,25	-0,16	0,230	12,95	±0,1536	±0,1508	±0,3072
2	0,40	0,80	1,15	1,90	2,15	-0,10	0,230	12,95			
3	0,40	0,60	1,25	1,80	2,30	-0,23	0,250	14,04			
4	0,50	1,00	1,20	1,80	2,05	0,14	0,195	11,03			
5	0,35	0,90	1,35	1,50	2,00	0,05	0,195	11,03			
$W_{\min}$	0,35	0,60	1,15	1,50	2,00	-0,23	0,195	11,03			
$W_{\max}$	0,50	1,00	1,35	1,90	2,30	0,14	0,250	14,04			
Средн.	0,40	0,80	1,25	1,70	2,15	-0,06	0,220	12,67			
Ст. откл	0,0612	0,1581	0,0707	0,1871	0,2415	0,1522	0,0242	1,363			
Коррел./%	15,309	19,764	5,657	11,005	11,232	253,59	11,107	9,30			

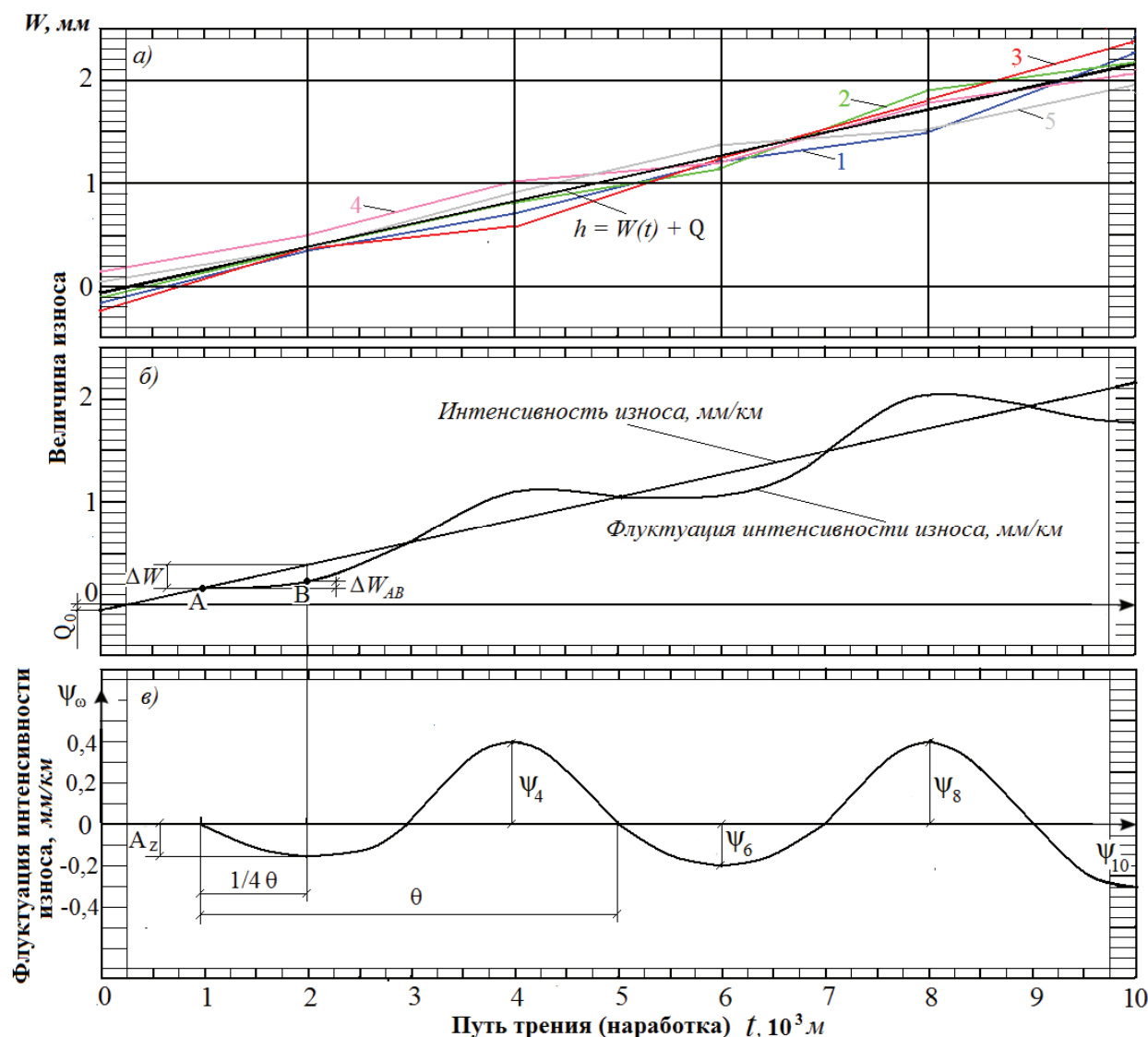


Рис. 4 – Диаграмма процесса изнашивания фрагментов на машине ВЧ и последовательность определения флуктуаций интенсивности изнашивания. Цена деления по вертикали – 0,1 мм, по горизонтали – 0,25 км

используются генераторы случайных чисел и с их помощью генерируются переменные Q_0 , h , Φ_h , $\Delta\psi_i$. Следует отметить, что величины трёх первых из них генерируются один раз на каждом цикле, а величины переменной $\Delta\psi_i$ генерируются на каждом шаге вычислений. Для определения диапазона, на котором могут быть генерированы вышеуказанные переменные, указывается ожидаемое значение переменной и коэффициент вариации. Программа позволяет выключить произвольные генераторы и задать принятое значение, которое удовлетворяет начальные условия, соответствующие данному параметру.

Эта программа позволяет:

- провести статистическое моделирование износа на протяжении некоторого пройденного пути t путём замера динамики изнашивания в нескольких точках i ;
- определять прогнозируемую долговечность лезвия T для известного допустимого износа $W_{\max}$.

Для проведения вычислений следует ввести в программу следующие параметры:

первый этап (главные величины):

- длину пути для испытания всех опытных образцов $t = 10 \cdot 10^3$ м;
- величину пути между замерах $\Delta t = 2 \cdot 10^3$ м;
- значения коэффициента $k_0 = 0,1$;
- нижний предел интенсивности изнашивания $\Phi_h = 0,195$ мм/км;

второй этап (вид выполняемого анализа):

- величину максимального износа $W_{\max} = 15$ мм;
- третий этап (дискретные величины или параметры переменных в генераторах):

- начальный износ $Q_0 = -0,060$ мм;
- интенсивность изнашивания $h = 0,215$ мм/км;
- величину периода флуктуаций $\Theta = 4 \cdot 10^3$ м;
- амплитуду флуктуаций в период приработки $A_z = (W_{2,\max} - W_{2,\min}) / \cos \alpha$;
- процесс циклических флуктуаций $\Delta\psi_i = (W_{i,\max} - W_{i,\min}) / \cos \alpha$;

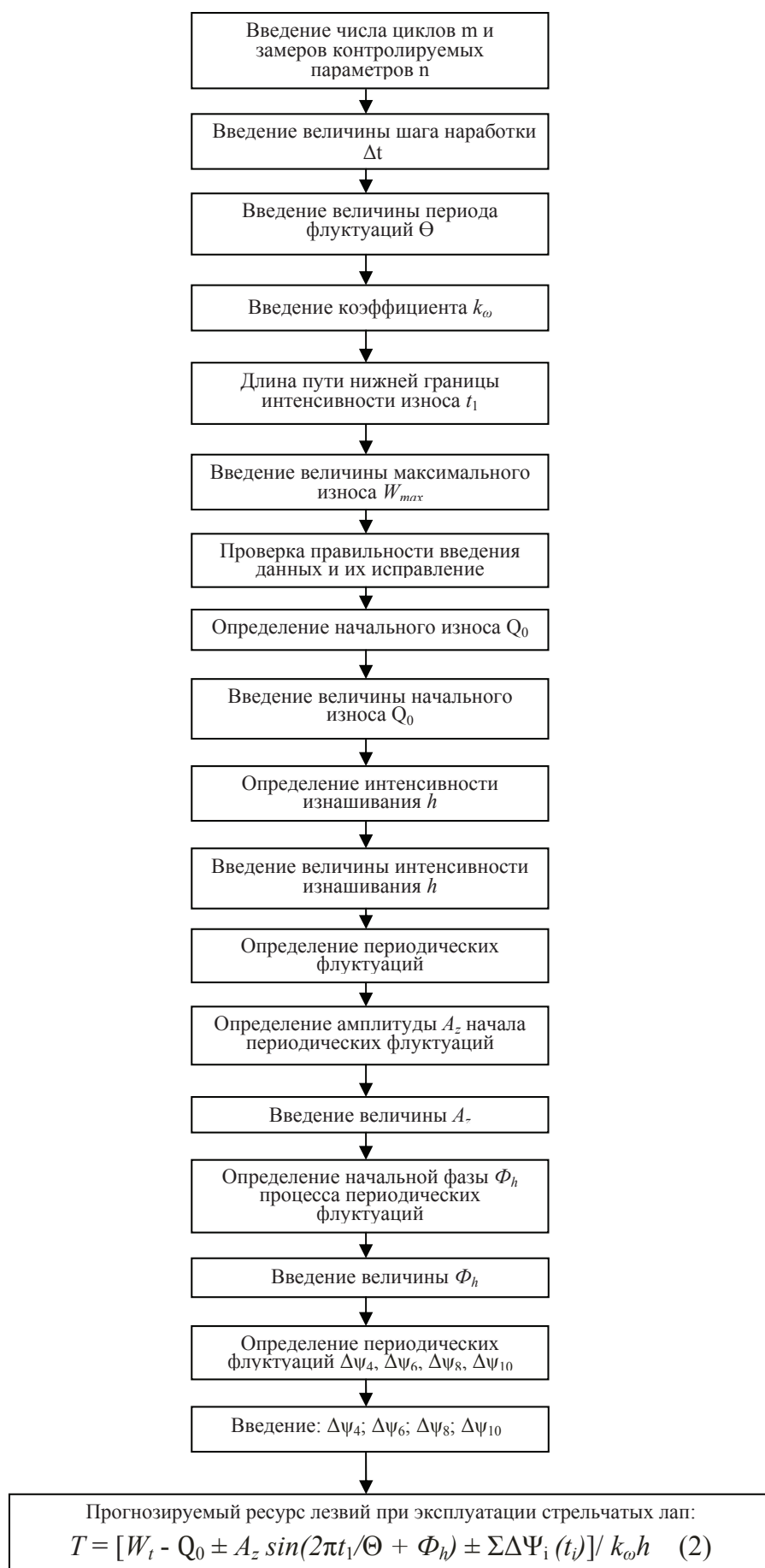


Рис. 5 – Блок-схема программы прогнозной оценки износа

Расчёты, проведённые по формуле (2), показали, что прогнозируемый ресурс лезвий составляет $22 \div 25$ га, что подтверждается также наблюдениями за рабочими органами в условиях эксплуатации.

Таким образом, применение статистического моделирования позволяет сократить объём стендовых и полевых испытаний по определению надёжности по износостойкости лезвий стрелчатых лап культиваторов.

Литература

1. ГОСТ 30479-97. Обеспечение износостойкости изделий. Методы установления предельного износа, обеспечивающего требуемый уровень безопасности. Общие требования.
2. ГОСТ Р 50740-95 Триботехнические требования и показатели. Принципы обеспечения. Общие положения.
3. Прогнозирование конечного износа элементов ДВС после продолжительной эксплуатации. URL: <http://lib.chdu.edu.ua/pdf/monograf/4/40.pdf>
4. Повышение износостойкости и долговечности рабочих органов машин противоэрозионного комплекса: ВИСХОМ. Отчёт о НИР № ГР 01823011299, инв. № 09761. М., 1984. 137 с.