



**Министерство образования Республики Беларусь**

**Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого»**

**Кафедра «Сельскохозяйственные машины»**

## **НАДЕЖНОСТЬ МАШИН**

### **ПРАКТИКУМ**

**по выполнению лабораторных работ  
по одноименной дисциплине  
для студентов специальности 1-36 12 01  
«Проектирование и производство  
сельскохозяйственной техники»  
дневной и заочной форм обучения**

**Гомель 2021**

УДК 62-192(075.8)  
ББК 34.414я73  
Н17

*Рекомендовано научно-методическим советом  
механико-технологического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 5 от 03.05.2019 г.)*

Составители: В. Б. Попов, А. В. Голопятин

Рецензент: зам. зав. конструкторским отделом «Гидропневматические системы  
и электрооборудование» НТЦК ОАО «Гомсельмаш» В. В. Подрез

**Надежность машин** : практикум по выполнению лаборат. работ по одним.  
Н17 дисциплине для студентов специальности 1-36 12 01 «Проектирование и производство  
сельскохозяйственной техники» днев. и заоч. форм обучения / сост.: В. Б. Попов,  
А. В. Голопятин. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2021. – 10 с. – Системные требова-  
ния: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ;  
Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://elib.gstu.by>. – Загл.  
с титул. экрана.

Представлены задачи по основам теории и анализу основных показателей надежности.  
Для студентов специальности 1-36 12 01 «Проектирование и производство сельскохо-  
зяйственной техники» дневной и заочной форм обучения.

УДК 62-192(075.8)  
ББК 34.414я73

© Учреждение образования «Гомельский  
государственный технический университет  
имени П. О. Сухого», 2021

# СТЕНДОВЫЕ И ПОЛИГОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА УСКОРЕНИЙ

## Основные сведения

Стендовые и полигонные испытания проводят для получения информации о надежности объектов в более короткие сроки, чем в условиях эксплуатации. Такие испытания называются ускоренными.

Ускоренные испытания можно подразделить на два вида:

- уплотненные (по времени);
- ужесточенные (по факторам нагружения).

При уплотненных по времени испытаниях ускоренное получение информации достигается без интенсификации (в сравнении с эксплуатацией) физико-химического процесса разрушения (без увеличения нагружения). Уплотнение временем достигается круглосуточными испытаниями. Это позволяет увеличить наработку в сравнении с нормальной эксплуатацией.

Большое достоинство уплотненных испытаний – достижение эффекта ускорения без искажения физической картины потери объектом работоспособности.

При оценке уплотненных по времени испытаний следует отличать граничные испытания от учащенных в части определения по их результатам действительной надежности объекта в эксплуатации.

Если при учащенных испытаниях известно, что частота приложения нагрузки увеличена в  $K_{\Pi}$  раз или объект реализовал наработку в  $K_{\Pi}$  раз большую за календарное время, чем в эксплуатации, то средний ресурс, полученный при ускоренных испытаниях  $T_y$ , пересчитывается на ожидаемый средний ресурс в эксплуатации  $T_э$ :

$$T_э = K_{\Pi} T_y, \quad (1)$$

где  $K_{\Pi}$  – коэффициент перехода (ускорения).

При граничных испытаниях получают минимальный ресурс, возможный с определенной вероятностью в эксплуатации при неблагоприятном сочетании условий. Задача состоит в том, чтобы по этим результатам рассчитать средний гамма-процентный ресурс объектов в эксплуатации.

Коэффициент ускорения испытания при граничных испытаниях:

$$K_{\Pi} = \alpha \sqrt{\frac{\nu_{\gamma}}{\nu_{50}}}, \quad (2)$$

где  $\alpha$  – неслучайный и постоянный для определенного объекта показатель степени;

$\nu_\gamma$  – параметр, характеризующий работоспособность объекта, при определенном гамма-процентном ресурсе;

$\nu_{50}$  – параметр, характеризующий работоспособность объекта, при 50-процентном ресурсе.

Ужесточенными по нагружению испытаниями называют такие испытания, при которых ускоренное получение информации достигается с интенсификацией физико-химического процесса разрушения.

Чтобы обеспечить эффективность ужесточенных испытаний, необходимо соблюдать их подобие с эксплуатационными испытаниями.

С физической точки зрения подобие состоит в том, чтобы физическая картина отказа при ужесточенных и эксплуатационных испытаниях была одинаковой по характеру и виду разрушения.

Математическое подобие состоит в том, чтобы вероятности безотказной работы объекта при ужесточенных и эксплуатационных испытаниях были одинаковы:  $P(t_y) = P(t_\varepsilon)$ .

Если коэффициент перехода  $K_{\Pi}$  для любого  $t$  будет постоянным, то условие равенства вероятностей приведет к равенству коэффициентов вариации времени безотказной работы при ускоренных испытаниях и в эксплуатации:  $\nu_y = \nu_\varepsilon$ .

Коэффициенты вариации при соответствующем испытании определяются выражениями:

$$\nu_y = \frac{\sigma_y}{T_y}, \quad \nu_\varepsilon = \frac{\sigma_\varepsilon}{T_\varepsilon}, \quad (3)$$

где  $\sigma_y$ ,  $\sigma_\varepsilon$  – среднеквадратичные отклонения ресурсов при ускоренных и эксплуатационных испытаниях соответственно.

При расчете должно удовлетворяться условие неравенства

$$\frac{|\nu_\varepsilon - \nu_y|}{\sqrt{\frac{\nu_\varepsilon^2}{2n_\varepsilon} + \frac{\nu_y^2}{2n_y}}} < 3, \quad (4)$$

где  $n_\varepsilon$ ,  $n_y$  – количество объектов, подвергающихся эксплуатационным и ускоренным испытаниям соответственно.

Если это неравенство удовлетворено, то условие подобия эксплуатационных и ужесточенных ускоренных испытаний выполняется.

### Задание 1

Определить коэффициент перехода по результатам испытаний ножей свеклокомбайна в условиях стенда (ужесточенные испытания) и эксплуатации и проверить условия подобия.

Количество ножей при ужесточенных испытаниях  $n_y$ , при эксплуатации  $n_э$ . Время испытаний  $T_y$ , время эксплуатации  $T_э$ . Среднеквадратичные отклонения ресурсов при ускоренных испытаниях  $\sigma_y$  и эксплуатации  $\sigma_э$  (табл. 1).

Таблица 1

#### Исходные данные

№	1	2	3	4	5	6	7
$n_y$ , шт	40	41	42	43	44	45	46
$n_э$ , шт	10	11	12	13	14	15	17
$T_y$ , ч	30	32	34	36	38	40	41
$T_э$ , ч	250	255	260	265	270	275	280
$\sigma_y$ , ч	8	9	10	11	12	13	15
$\sigma_э$ , ч	101	102	103	104	105	106	107
№	8	9	10	11	12	13	14
$n_y$ , шт	47	49	50	51	52	53	54
$n_э$ , шт	18	19	20	21	22	23	24
$T_y$ , ч	43	44	40	39	37	35	31
$T_э$ , ч	285	290	295	300	305	310	315
$\sigma_y$ , ч	16	17	18	19	20	21	22
$\sigma_э$ , ч	109	110	111	112	113	114	115

#### Пример выполнения задания 1

Исходные данные:

$n_y = 48$  шт.;  $n_э = 16$  шт.;  $T_y = 42$  ч;  $T_э = 276$  ч;  $\sigma_y = 14$  ч;  $\sigma_э = 108$  ч.

### Решение

По формулам (3) определим коэффициенты вариации при ускоренных испытаниях и эксплуатации:

$$v_y = \frac{\sigma_y}{T_y} = \frac{14}{42} = 0,33,$$

$$v_{\text{э}} = \frac{\sigma_{\text{э}}}{T_{\text{э}}} = \frac{108}{276} = 0,39.$$

Коэффициент перехода (ускорения) определим из формулы (5.1):

$$K_{\text{п}} = \frac{T_{\text{э}}}{T_y} = \frac{276}{42} = 6,57$$

Проверяем условие подобия (5.4)

$$\frac{|v_{\text{э}} - v_y|}{\sqrt{\frac{v_{\text{э}}^2}{2n_{\text{э}}} + \frac{v_y^2}{2n_y}}} = \frac{0,39 - 0,33}{\sqrt{\frac{0,39^2}{2 \cdot 16} + \frac{0,33^2}{2 \cdot 48}}} = 0,782 < 3.$$

Условие подобия выполняется.

### Задание 2

Число циклов  $N$  резьбового соединения до 50%-ого падения усилия начальной затяжки  $Q_3$  (предельное состояние) связано с параметрами соединения и характеристиками нагрузки зависимостью:

$$N = \left( \frac{F \cdot Q_3 \cdot \sigma_{\text{пр}}}{K \cdot \chi_p \cdot P_a^2} \right)^m \cdot N_0,$$

где  $F$  – площадь поперечного сечения болта;

$\sigma_{\text{пр}}$  – предел стабильности затяжки;

$\chi_p$  – расчетный коэффициент основной нагрузки;

$K$  – эмпирический коэффициент;

$P_a$  – амплитуда циклической нагрузки, действующей на один болт соединения;

$m$  – показатель степени;

$N_0$  – базовое число циклов.

Испытывается соединение с болтами М10, имеющее параметры:  
 $F = 0,55 \text{ см}^2$ ;  $K = 2,8$ ;  $\chi_p = 0,3$ ;  $m = 8$ ;  $\sigma_{\text{пр}} = 15 \text{ кг/см}^2$ ;

$N_0 = 2 \cdot 10^5$  циклов.

Из результатов обследования в условиях эксплуатации известно, что величины  $P_a$  и  $Q_3$  имеют логарифмически нормальное распределение. При этом  $\ln P_a$  и  $\ln Q_3$  распределены нормально. Их средние значения и среднеквадратические отклонения соответственно равны  $\bar{P}_a = 100$  Н;  $\bar{Q}_3 = 770$  Н;  $\sigma_{P_a} = 30$  Н;  $\sigma_{Q_3} = 154$  Н (табл. 2).

Необходимо определить коэффициент ускорения при оценке 80%-ого ресурса.

Таблица 2

**Исходные данные**

№	1	2	3	4	5	6	7
$\bar{P}_a$ , кг	80	85	90	95	105	110	115
$\bar{Q}_3$ , кг	700	710	720	730	740	750	760
$\sigma_{P_a}$ , кг	15	20	25	35	40	45	50
$\sigma_{Q_3}$ , кг	120	125	130	135	140	145	150
№	8	9	10	11	12	13	14
$\bar{P}_a$ , кг	120	125	130	135	140	145	150
$\bar{Q}_3$ , кг	780	790	800	810	820	830	840
$\sigma_{P_a}$ , кг	55	60	65	70	75	80	85
$\sigma_{Q_3}$ , кг	155	160	165	170	175	180	185

*Решение*

Введём меру повреждения за один цикл нагружения:

$$D_1 = 1/N.$$

По достижении предельного состояния, т. е. за  $N$  циклов, мера повреждения равна единице:

$$D_N = D_1 \cdot N = \frac{1}{N} \cdot N = 1.$$

Определим величину  $\tilde{D}$ , равную:

$$\tilde{D} = \ln D_1 = m \cdot \ln \frac{K \cdot \chi_p}{F \cdot \sigma_{np} \cdot N_0^{1/m}} + 2 \cdot m \cdot \ln P_a - m \cdot \ln Q_3.$$

Так как  $\ln P_a$  и  $\ln Q_3$  распределены нормально, то можно считать, что нормально распределена и величина  $\ln D_1$ .

Параметры нормального распределения  $a_p$  и  $b_p^2$  (среднее и дисперсия) величины  $\ln P_a$  можно определить, используя зависимости:

$$\bar{P}_a = e^{a_P + \frac{b_P^2}{2}};$$

$$\sigma_{P_a} = \bar{P}_a \cdot \sqrt{e^{b_P^2} - 1}.$$

Откуда получим:

$$b_P^2 = \ln\left(\left(\frac{\sigma_{P_a}}{\bar{P}_a}\right)^2 + 1\right) = \ln\left(\left(\frac{30}{100}\right)^2 + 1\right) = 0,086;$$

$$a_P = \ln\left(\bar{P}_a - e^{\frac{b_P^2}{2}}\right) = \ln\left(100 - e^{\frac{0,086}{2}}\right) = 4,562.$$

Аналогично определяются  $a_Q$  и  $b_Q^2$  для величины  $\ln Q_3$ .

$$b_Q^2 = \ln\left(\left(\frac{\sigma_{Q_3}}{Q_3}\right)^2 + 1\right) = \ln\left(\left(\frac{154}{770}\right)^2 + 1\right) = 0,039;$$

$$a_Q = \ln\left(\bar{Q}_3 - e^{\frac{b_Q^2}{2}}\right) = \ln\left(770 - e^{\frac{0,039}{2}}\right) = 6,645.$$

Моменты (средние и дисперсия) распределения величины  $\ln D_1$  определяются по формулам:

$$M[\ln D_1] = m \cdot \ln \frac{K \cdot \chi_p}{F \cdot \sigma_{np} \cdot N_0^{\frac{1}{m}}} + 2 \cdot m \cdot a_P - m \cdot a_Q;$$

$$D[\ln D_1] = 4 \cdot m^2 \cdot b_P^2 + m^2 \cdot b_Q^2.$$

Расчёт по этим формулам дает:

$$M[\ln D_1] = 8 \cdot \ln \frac{2,8 \cdot 0,3}{0,55 \cdot 15 \cdot (2 \cdot 10^5)^{0,125}} + 2 \cdot 8 \cdot 4,562 - 8 \cdot 6,645 = -10,65.$$

$$D[\ln D_1] = 4 \cdot 8^2 \cdot 0,086 + 8^2 \cdot 0,039 = 24,51.$$

Соответствующее значение среднего числа циклов рассчитывается с помощью формулы

$$N_{0,5} = e^{-M[\ln D_1]};$$

$$N_{0,5} = e^{10,65} = 42000.$$

Среднеквадратическое отклонение



$$\ln D_1 = \sqrt{D[\ln D_1]} = 4,95.$$

Величину  $\ln D_1$ , соответствующую  $\gamma = 0,8$ , определим по формуле:

$$\tilde{D}_{0,8} = M[\ln D_1] + I_\gamma \cdot \sigma_{\ln D_1},$$

где  $I_\gamma$  – квантиль нормального распределения (при  $\gamma = 0,8$   $I_{0,8} = 0,84$ );  
 $\sigma_{\ln D_1}$  – среднеквадратическое отклонение.

Получаем:

$$\tilde{D}_{0,8} = -10,503 + 0,84 \cdot 4,95 = -6,34.$$

Соответственно,  $N_{0,8} = e^{-\tilde{D}_{0,8}} = 567$  циклов.

Коэффициент ускорения при испытаниях равен:

$$K_{II} = \frac{N_{0,5}}{N_{0,8}} = \frac{42000}{567} = 74.$$

## Литература

1. Ермолов, Л. С. Повышение надежности сельскохозяйственной техники (Основы теории и практики) / Л. С. Ермолов.– М. : Колос, 1979.
2. Проников, А. С. Надежность машин / А. С. Проников. – М. : Машиностроение, 1978.
3. Кряжков, В. М., Ермолов Л. С. Основы надежности сельскохозяйственной техники / В. М. Кряжков, Л. С. Ермолов. – М. : Колос, 1982.

# **НАДЕЖНОСТЬ МАШИН**

**Практикум  
по выполнению лабораторных работ  
по одноименной дисциплине  
для студентов специальности 1-36 12 01  
«Проектирование и производство  
сельскохозяйственной техники»  
дневной и заочной форм обучения**

**Составители: Попов Виктор Борисович  
Голопятин Александр Владимирович**

Подписано к размещению в электронную библиотеку  
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного  
учебно-методического документа 13.01.21.

Рег. № 75Е.

<http://www.gstu.by>