

В результате выполненных исследований установлено:

1. ПВДО покрытий после МЭУ позволяет получить более высокую плотность и однородность слоев с присутствующими более мелкими порами (менее 0,10 мкм) по границам зерен или ячеек, большую протяженность ЗТВ (более 450 мкм), а также увеличить микротвердость покрытий на 7,6%.

2. Комбинированная магнитно-электрическая обработка поверхностей по сравнению с МЭУ позволяет повысить качество покрытий за счет уменьшения их объемной пористости в 1,4-1,8 раза и средней шероховатости поверхности по параметру  $Ra$  в 2,1-2,9 раза.

### Литература

1. Черноиванов, В.И. Восстановление деталей машин / В.И. Черноиванов, И.Г. Голубев. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2010. – 376 с.
2. Акулович, Л.М. Термомеханическое упрочнение деталей в электромагнитном поле. – Полоцк : ПГУ, 1999. – 240 с.
3. Кожуро, Л.М. Обработка деталей машин в магнитном поле / Л.М. Кожуро, Б.П. Чемисов. – Минск: Наука и техника, 1995. – 232 с.
4. Акулович, Л.М. Магнитно-электрическое упрочнение поверхностей деталей сельскохозяйственной техники / Л.М. Акулович, А.В. Миранович. – Минск : БГАТУ, 2016. – 236 с.

УДК 62-192(07)

### ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ

Круглый П.Е., к.т.н., доцент, Василевский П.Н., Шукан М.М.

Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск

Так как ожидать существенного повышения безотказности современной техники за счет только конструктивных решений не приходится, поскольку ее сложность растет быстрее надежности составляющих элементов, то перспективным методом повышения эксплуатационной надежности становится резервирование [1,2,3].

Для повышения эксплуатационной надежности технической системы возможно использование следующих методов резервирования: нагруженного и ненагруженного, полнокомплектного и поэлементного, с восстановлением и без восстановления [4,5]. Рассмотрим различные методы с целью определения наиболее эффективных из них.

Сравним вероятность безотказной работы нерезервированной технической системы ( $P_1(t)$ ), дублированной системы с нагруженным резервом ( $P_2(t)$ ) и дублированной системы с ненагруженным резервом ( $P_3(t)$ ). Для простоты рассмотрим системы без восстановления [6]:

$$P_1(t) = e^{-\lambda t}; \quad (1)$$

$$P_2(t) = 2e^{-\lambda t} - e^{-2\lambda t}; \quad (2)$$

$$P_3(t) = e^{-\lambda t} (1 + \lambda t), \quad (3)$$

где  $\lambda$  – параметр потока отказов технической системы.

Результаты расчета (при  $\lambda = 0,17ч^{-1}$ ) по уравнениям (1)...(3) приведены в таблице 1.

Как видно из таблицы 1 наибольшую вероятность безотказной работы имеет система с ненагруженным резервом.

### Секция 3: Технический сервис в АПК

Таблица 1 – Изменение вероятности безотказной работы системы в зависимости от времени

Время работы, ч	0	5	10	15	20
Вероятность $P_1(t)$	1	0,43	0,18	0,08	0,03
Вероятность $P_2(t)$	1	0,68	0,33	0,15	0,06
Вероятность $P_3(t)$	1	0,79	0,49	0,28	0,13

Сказанное справедливо и для восстанавливаемых систем. Это видно из сопоставления коэффициентов готовности в установившемся режиме дублированных систем с нагруженным и ненагруженным резервом.

Коэффициенты готовности для случая одного ремонтника при нагруженном и ненагруженном резервировании определим по выражениям [6]:

$$\eta_{г\text{наг}} = 1 - \frac{1}{\sum_{k=0}^m \frac{1}{k! \rho^k}}; \quad (4)$$

$$\eta_{г\text{ненаг}} = 1 - \frac{1}{\sum_{k=0}^m \frac{1}{\rho^k}}; \quad (5)$$

где  $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$  – приведенная плотность потока отказов;  $\mu$  – интенсивность потока восстановлений;  $m-1$  – число резервных систем.

Приняв в формулах (4), (5)  $m = 2$  (что соответствует дублированной системе) и подставив значение  $\rho = 0,38$ , получим  $\eta_{г\text{наг}} = 0,859$ ,  $\eta_{г\text{ненаг}} = 0,905$ , т. е. коэффициент готовности системы при ненагруженном резерве выше, чем при нагруженном.

Исходя из вышесказанного можно сделать вывод, что ненагруженный резерв следует рассматривать, как практически приемлемую форму организации использования технических систем.

Необходимо также установить целесообразный уровень резерва для ненагруженного резервирования: полнокомплектный или поэлементный.

Для этого определим коэффициенты готовности машины при наличии резервных агрегатов и полнокомплектной резервной машины.

Коэффициент готовности в установившемся режиме для системы из  $m$  машин (резервирование замещением) и одного ремонтника определяется по выражению (5). При наличии одной основной и одной резервной машины ( $m = 2$ ) зависимость (5) примет вид:

$$\eta_{г\text{ненаг}} = \frac{\mu + \lambda}{\mu + \lambda + \frac{\lambda^2}{\mu}}. \quad (6)$$

Результаты расчетов по формуле (6) приведены в таблице 2 (расчет выполнен при  $\lambda = 0,17 \text{ ч}^{-1}$ ).

Интенсивность потока восстановлений, равная  $0,48 \text{ ч}^{-1}$ , соответствует ремонту машины заменой отказавших агрегатов и узлов на резервные, а  $\mu = 2,9 \text{ ч}^{-1}$  – полнокомплектному резервированию.

Таблица 2 – Изменение коэффициента готовности в зависимости от потока восстановлений

Время восстановления $t_v$ , ч	2,07	1,00	0,70	0,35	0,30
Интенсивность потока восстановлений $\mu$ , $\text{ч}^{-1}$	0,48	1,00	1,50	2,90	3,50
Коэффициент готовности	0,915	0,976	0,990	0,997	0,998

Как видно из таблицы 2 коэффициент готовности восстанавливаемых систем при полнокомплектном резервировании выше, чем при поэлементном. Судя по приведенным примерам для обеспечения эксплуатационной надежности технических систем следует применять полнокомплектное ненагруженное резервирование замещением.

В заключение сравнения различных методов резервирования отметим, что резервирование с восстановлением отказавших элементов более эффективно, чем без восстановления [4,5,7,8] и, кроме этого, позволяет создавать высоконадежные системы даже при малых кратностях резервирования (отношении числа резервных машин к основным) за счет сокращения времени восстановления.

Таким образом, для повышения эксплуатационной надежности технических систем целесообразно использовать полнокомплектное ненагруженное резервирование замещением с восстановлением.

#### Литература

1. Щурин К.В. Надежность мобильных машин / К.В. Щурин, В.Е. Тарасенко. – Санкт-Петербург: Лань, 2024. – 400 с.
2. Тарасенко В.Е. Надежность технических систем / В.Е. Тарасенко, В.П. Миклуш, А.А. Жешко. – Минск: БГАТУ, 2015 – 204 с.
3. Ивашко В.С., Кураш В.В., Круглый П.Е. Надежность технических систем. – Минск: БГАТУ, 2003. – 154 с.
4. Тарасенко В.Е., Анискович Г.И., Круглый П.Е. и др. Надежность и ремонт сельскохозяйственной техники. – Минск: БГАТУ, 2023 – 392 с.
5. Ивашко В.С., Круглый П.Е., Немов И.А. Повышение надежности технических систем методом резервирования. – Изобретатель. – 2016. – № 4. – с. 35-38.
6. Дж. Сандлер. Техника надежности систем: Перевод с английского. – М.: Наука, 1986. – 300 с.
7. Левин Б.Р., Епишин Ю.Г. Теория резервирования систем с восстановлением. – Дополнение к книге: Базовский И. Надежность. Теория и практика: Перевод с английского. – М.: Мир, 1985, с. 334-363.
8. Круглый П.Е. Обеспечение эксплуатационной надежности машинного парка технологических комплексов резервированием полнокомплектных машин и их составных частей. – В кн.: Современная сельскохозяйственная техника: исследование, проектирование, применение. – Материалы Международной научно-практической конференции. Минск, БГАТУ. – 2010.

УДК 631.312.02

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕССОР ДЛЯ ЗАЩИТЫ КОРПУСОВ ПЛУГОВ**

**Мисуно О.И.**, к.т.н., доцент

Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск

Машиностроительные предприятия Республики Беларусь выпускают большое многообразие плугов с рессорной защитой корпусов. Простая конструкция рессорной защиты позволяет корпусам плавно обходить камни и другие препятствия и автоматически возвращаться в исходное положение, что обеспечивает устойчивость работы корпусов при пахоте почв различного механического состава, плотности и влажности.

Недостатком малолистовых рессор в качестве защитных элементов корпусов плуга является их недостаточная жесткость в процессе работы при не больших деформациях. Это приводит к тому, что рессоры работают по циклу извлечение-заглубление корпусов плуга при наезде на незначительные препятствия, которые не могут привести к повреждению рабочих органов. Тогда в процессе вспашки при наезде плуга на небольшие преграды (комки, уплотнения в почве) рессорная защита срабатывает вхолостую, что снижает качество