

УДК 502/504:631.3.004.67:631.145

Б. Н. ОРЛОВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Московский государственный университет природообустройства»

МЕТОД СТРУКТУРНЫХ СХЕМ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ГИДРОСИСТЕМЫ И КОЛЕСНЫХ ДВИЖИТЕЛЕЙ МАШИН ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА

При расчете оценки надежности привода и колесного движителя машины природообустройства необходимо представлять как системы элементов, для которых известны или можно определить показатели надежности.

Структурные схемы, безотказность, привод, колесный движитель, соединение.

When assessing the reliability of the machine drive and wheel propeller of environmental engineering it is necessary to present as the system elements for which the reliability indicators are known or possible to be defined.

Structural schemes, reliability, drive, wheel propeller, connection.

Деление привода на элементы и влияние отказов элементов на надежность привода отображаются структурными схемами надежности. Метод структурных схем применяют для расчета надежности как вероятности внезапных отказов при условии, что все элементы привода являются одноотказными (т. е. в элементах невозможны разные отказы одновременно) и отказы элементов независимы.

Основой структурной схемы является условное изображение последовательных и параллельных соединений элементов, выражающих события безотказности их действия. Последовательным считается соединение элементов, при котором отказ хотя бы одного из них приводит к отказу привода. Параллельным называется соединение элементов в приводе, при котором отказ привода наступает только тогда, когда откажут все элементы [1].

Тип соединения элементов в структурной схеме зависит от влияния отдельных элементов на работоспособность привода и не всегда совпадает с монтажным соединением.

В случае последовательного монтажного соединения фильтров структурная схема в зависимости от типа отказа может быть как параллельной, так и последовательной. Если монтаж фильтров последовательный, то работоспособность гидропровода нарушается при разрыве сетки в обоих фильтрах или засорении сетки в одном фильтре. Если разрыв сетки происходит в одном каком-либо фильтре, то жидкость очищается исправным, поэтому структурная схема представляется параллельным соединением. При засорении одного из фильтров последовательного монтажа гидросистема становится неработоспособной, а структурная схема представляется последовательным соединением.

При параллельном монтажном соединении структурные схемы соединения элементов (фильтров) обратны рассмотренным.

Система последовательного соединения безотказна только в том случае, когда безотказны все элементы, начиная с первого до n -го. Вероятность безотказной

работы последовательного соединения элементов, согласно теореме умножения случайных событий, равна произведению вероятностей появления всех событий:

$$P = \prod_{i=1}^n P_i, \quad (1)$$

где P_i – вероятность безотказной работы i -го элемента.

Система параллельного соединения безотказна, если безотказны оба элемента или хотя бы один из них. Согласно теореме сложения вероятностей, вероятность безотказной работы системы $P = P_1 + P_2 - P_1 P_2$.

Если вероятности безотказной работы элементов одинаковы – $P_1 = P_2 = P_i$, то $P = 2P_i - P_i^2$.

Если структурная схема состоит из k параллельных цепей, в каждой из которых n элементов, то вероятность безотказной работы системы

$$P = 1 - \prod_{j=1}^k (1 - \prod_{i=1}^n P_i). \quad (2)$$

Правильность структурной схемы проверяется согласно принципу прохождения сигналов – сигналы проходят только по исправным элементам (отказавший элемент сигнал не пропускает). При последовательном соединении элементов сигнал с входа до выхода при отказе хотя бы одного элемента не проходит. При параллельном соединении для прохождения сигнала достаточно иметь хотя бы одну исправную ветвь.

В процессе эксплуатации интенсивность отказов не зависит от времени, справедлив экспоненциальный закон надежности $P(t) = \exp(-\lambda t)$.

Вероятность безотказной работы последовательного соединения n элементов с учетом экспоненциального закона определяют так:

$$P(t) = \exp\left[-\sum_{i=1}^n \lambda_i t_i\right], \quad (3)$$

где λ_i и t_i – интенсивность отказов и время исправной работы i -го элемента. (Здесь можно видеть, что надежность системы с последовательным соединением элементов ниже надежности наименее надежного элемента. Чем сложнее система, тем ниже ее надежность при прочих равных условиях).

Вероятность безотказной работы параллельного соединения n элементов с учетом экспоненциального закона определяют по следующему выражению:

$$P(t) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - \exp(-\lambda t)]. \quad (4)$$

Надежность параллельного соединения элементов при одинаковой их безотказности выше, чем надежность последовательного соединения.

Для высоконадежных элементов, когда допустимо $\lambda_i t_i < 1$ и $\exp(-\lambda t) = 1 - \lambda t$, вероятность безотказной работы можно определять как $P(t) = 1 - \sum_{i=1}^n \lambda_i t_i$.

Для расчета надежности сколь угодно сложной системы достаточно знать состав элементов, их число, монтажное соединение и статистические характеристики показателей надежности.

Данные о составе элементов определяют по монтажной схеме, статистические показатели надежности элементов – на основании данных эксплуатации подобных приводов. Расчет показателей надежности по структурным схемам целесообразно проводить по блокам и узлам привода. Это позволяет сравнивать узлы по надежности, выявляя слабые, и намечать пути повышения надежности на различных этапах жизненного цикла привода [2].

Рекомендуется следующий порядок расчета:

формулируют понятие отказа привода;

строят структурную схему надежности, на которой указывают временные интервалы работы каждого элемента (рис. 1);

вычисляют количественные характеристики надежности каждого элемента, проводят сравнение и анализ;

вычисляют количественные характеристики надежности всего привода – определяют суммарную интенсивность отказов –

$$\Lambda = \sum_{i=1}^{k_1} n_i \lambda_i + \sum_{j=1}^{k_2} n_j \lambda_j + \dots + \sum_{l=1}^{k_s} n_l \lambda_l,$$

где время безотказной работы $T_{cp} = 1/\Lambda$ и вероятность безотказной работы в момент времени t .

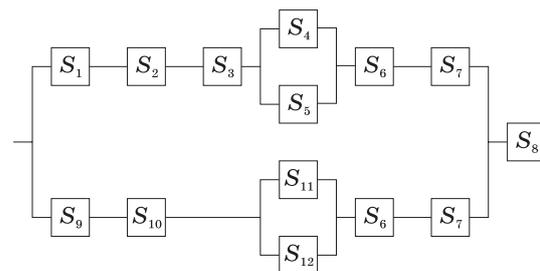


Рис. 1. Структурная схема надежности гидропривода: $S_1 \dots S_{12}$ – элементы системы (см. табл. 1)

По имеющейся структурной схеме проводят оценку надежности гидропровода. Последовательно соединенные элементы включают в уравнение функциональной безотказности произведения вероятность безотказной работы каждого гидроустройства:

$$P'(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t).$$

Параллельно соединенные звенья представляют так:

$$P''(t) = \prod_{j=1}^m \{1 - P_j(t)\}.$$

Полученные результаты сводят к наименованиям гидроустройств, их обозначениями и вероятностью безотказной работы (табл. 1).

Таблица 1

Гидроустройства	Обозначение	ВБР
Бак	S_1	$P_1(t)$
Насосы	S_2	$P_2(t)$
Гидроаккумулятор	S_3	$P_3(t)$
Фильтр	S_4	$P_4(t)$
Клапан предохранительной фильтра	S_5	$P_5(t)$
Прибор управления механизма 1	S_6	$P_6(t)$
Прибор управления механизма 2	S_7	$P_7(t)$
Гидролинии	S_8	$P_8(t)$
Бак аварийной системы	S_9	$P_9(t)$
Насос аварийной системы	S_{10}	$P_{10}(t)$
Фильтр аварийной системы	S_{11}	$P_{11}(t)$
Клапан предохранительный фильтра	S_{12}	$P_{12}(t)$
Аварийное управление механизма 1	S_{13}	$P_{13}(t)$
Аварийное управление механизма 2	S_{14}	$P_{14}(t)$

Вероятность безотказной работы структурной схемы гидропровода можно оценить по следующему выражению:

$$P(t) = \{1 - P_1 P_2 P_3 [1 - (1 - P_4)(1 - P_5)] \cdot [1 - P_9 P_{10} [1 - (1 - P_{11})x(1 - P_{12})]]\} \cdot [1 - (1 - P_6 P_7)(1 - P_{14} P_{15})] P_8.$$

Для справки в табл. 1 приведены интенсивности отказов ($\lambda \cdot 10^{-6} 1/ч$) элементов привода, находящиеся в пределах доверительной вероятности $\nu = 0,9$ и полученные в результате обобщения данных эксплуатации приводов.

Для определения безотказности работы гидросистемы был выбран и исследован гидронасос – основной и определяющий блок гидросистемы.

Базовыми деталями гидравлического насоса, определяющими необходимость разборки для капитального ремонта, являются вал S_1 , блок цилиндров S_{11} , распределитель S_{12} . Эти детали в структурной схеме надежности должны располагаться последовательно. Остальные варианты капитального ремонта определяются необходимостью совместной (одновременной) замены подшипника S_2 с любым из элементов шатунно-поршневой группы $S_3... S_{10}$, и потому эти комбинации в структурной схеме надежности

соединяются параллельно. Для всех деталей насоса справедлив экспоненциальный закон наработки до первого отказа с интенсивностями отказов: $\lambda_1 = 1,2 \cdot 10^{-7}$; $\lambda_2 = 5,0 \cdot 10^{-7}$; $\lambda_3 = 2,2 \cdot 10^{-7}$; $\lambda_4 = \lambda_5 = \lambda_6 = \lambda_7 = \lambda_8 = \lambda_9 = \lambda_{10} = 1,0 \cdot 10^{-7}$; $\lambda_{11} = 1,0 \cdot 10^{-8}$; $\lambda_{12} = 1,0 \cdot 10^{-6} 1/ч$.

Определить вероятность безотказной работы насоса в течение $t = 50\,000$ ч.

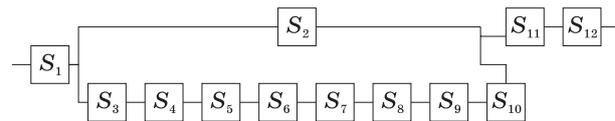


Рис. 2. Структурная схема надежности гидравлического насоса: $S_1... S_{12}$ – базовые детали гидравлического насоса

Исследования показали, что безотказная работа насоса в течение 50 000 ч возможна, когда исправны детали S_1, S_{11}, S_{12} (вал, блок цилиндров и распределительный золотник) и не вышли из строя подшипник S_2 или какой-либо элемент шатунно-поршневой группы $S_3... S_{10}$. Поскольку все события независимы, можно записать так:

последовательное соединение элементов $S_3... S_{10}$ дает надежность вероятности безотказной работы – $P_{\text{нос}} = P_3 P_4^7$;
 параллельное соединение S_2 и $S_3...$

S_{10} элементов дает надежность –

$$P_{\text{пар}} = 1 - (1 - P_2)(1 - P_3 P_4^7);$$

$$P(t) = P_1 P_{11} P_{12} \left[1 - (1 - P_2) \cdot \left(1 - \prod_{i=3}^{10} P_i \right) \right];$$

$$P_1 = e^{-1,2 \cdot 10^{-7} \cdot 50000} = 0,994;$$

$$P_2 = e^{-5,0 \cdot 10^{-7} \cdot 50000} = 0,9753;$$

$$= P_{10} = e^{-1,0 \cdot 10^{-6} \cdot 50000} = 0,9510$$

$$P_4 = P_5 = P_6 = P_7 = P_8 = P_9 =$$

$$= P_{10} = e^{-1,0 \cdot 10^{-6} \cdot 50000} = 0,9510;$$

$$P(t) = 0,994 \cdot 0,9995 \cdot 0,951 \cdot$$

$$\cdot [1 - (0,9753)(1 - 0,989 \cdot 0,995^7)] =$$

$$= 0,9511.$$

При теоретическом расчете безотказности работы колесного движителя была выбрана и исследована шина, так как она эксплуатируется в особых условиях мелиоративного строительства.

Построим структурную схему с указанием временных интервалов эксплуатации работы каждого элемента колесного движителя (рис. 3).

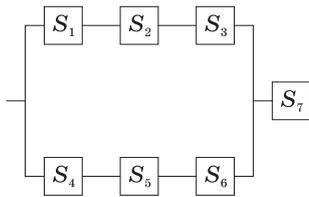


Рис. 3. Структурная схема надежности колесного движителя

Полученные результаты сводим в таблицу (табл. 2).

Таблица 2

Колесный движитель	Обозначение	ВБР
Шина	S_1	$P_1(t)$
Защитное кольцо	S_2	$P_2(t)$
Диск	S_3	$P_3(t)$
Золотник	S_4	$P_4(t)$
Ниппель	S_5	$P_5(t)$
Колпак	S_6	$P_6(t)$
Колесо	S_7	$P_7(t)$

Теоретические исследования безотказности работы колесного движителя приведены на рис. 4.

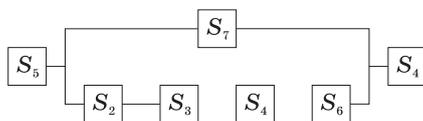


Рис. 4. Структурная схема надежности шины

Безотказная работа колесного движителя в течение $t = 20\ 000$ ч возможна, когда исправны блоки S_4 и S_1 (ниппель и шина).

Все события независимы, поэтому запись следующая:

последовательное соединение $S_2... S_6$ дает возможность вероятности безотказной работы

$$P_{\text{пос}} = P_2^3 P_6;$$

параллельное соединение S_7 и $S_2... S_6$ элементов дает надежность

$$P_{\text{пар}} = 5 - (1 - P_7) \cdot (1 - P_2^3 P_6);$$

$$P_t = P_1 \cdot P_5 [5 - (1 - P_7)(1 - P_2^3 P_6)].$$

На основе теоретического исследования был получен результат $P(t) = 0,9927$, подтвержденный патентом на полезную модель №77824 [3].

Выводы

Выполненный мониторинг оценки надежности показывает значительное изменение затрат на техническое обслуживание и ремонт в зависимости от выработанного ресурса привода и колесного движителя.

Надежность машин и оборудования природоустройства в реальных условиях зависит от показателя уровня технической эксплуатации в АПК.

Для расчета оценки надежности сложной системы машины достаточно знать состав элементов, их число, монтажное соединение и статистические характеристики показателей надежности.

Расчет показателей надежности по структурным схемам проводится по блокам. Это позволяет сравнивать узлы по надежности, выявлять слабые и намечать пути повышения надежности на различных этапах жизненного цикла.

1. Основы надежности сельскохозяйственной техники; под ред. П. П. Лезина. – Саранск: изд-во Мордовского университета, 1997. – 223 с.

2. Теория надежности / В. А. Острейковский [и др.]; под ред. В.А. Острейковского. – М.: Высшая школа, 2003. – 463 с.

3. Устройство для повышения проходимости транспортного средства: патент № 77825 / Е. А. Пучин, Б. Н. Орлов, М. В. Короткий, Н. Б. Орлов: заявка № 2008126664: зарег. в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 10.11.08. – 5 с.

Материал поступил в редакцию 15.12.11.
Орлов Борис Намсынович, доктор технических наук, профессор
 Тел. 8 (499) 976- 21-61