

выхода из строя предельного количества роlikоопор n_x уменьшается с длиной конвейера за счет увеличения резерва.

Итак, мы получили инженерную модель надежности става ленточного конвейера, позволяющую теоретически обосновать уровень его обслуживания для поддержания необходимого технического состояния. Это, в свою очередь, позволяет обосновать систему плановых ремонтов става и объем необходимого количества заменяемых роликoв.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шахмейстер Л.Г., Дмитриев В.Г. Вероятностные методы расчета транспортирующих машин.-М.:Машиностроение, 1983.-255с.
2. Спришевский А.И. Подшипники качения.-М.:Машиностроение, 1969.-631с.
3. Зенков Р.Л., Ивашков И.И., Колобов Л.И. Машины непрерывного транспорта.-М.:Машиностроение, 1987.-430с.
5. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности.-М.:Наука, 1965.-524с.

УДК 622.647.2

А.Н. Смирнов, А.Л. Манашкин

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОЦЕССА ГИБЕЛИ И РАЗМНОЖЕНИЯ В ОЦЕНКЕ НАДЕЖНОСТИ И ЖИВУЧЕСТИ КОНВЕЙЕРНОГО СТАВА.

Запропонована модель надійності става стрічкового конвейеру на основі процесу гібелі і розмноження. Визначена ефективність його роботи в залежності від ступеню живучості. Приведен приклад визначення показників надійності і обслуговування става стрічкового конвейеру. Бібліогр.: 6 найм.

Став ленточного конвейера состоит из большого количества роlikоопор. Как и перегрузочный узел, он подвергается наиболее интенсивному

воздействию динамических нагрузок со стороны транспортируемого груза. Наиболее часто выходят из строя ролики роlikоопор. Причиной выхода из строя роликов, как правило, является подшипниковый узел [1]. Поэтому оценка надежности става ленточного конвейера и разработка мер по поддержанию заданного уровня его надежности, является актуальной задачей.

Выход из строя некоторого количества роликов еще не приводит к утрате работоспособности става ленточного конвейера. Поэтому став является высокорезервированной системой и имеет очень высокую вероятность безотказной работы (близкую к 1), несмотря на довольно низкую надежность роlikоопор.

Указанное свойство такой системы определяется понятием живучести [2]. Надежность такой сложной системы невозможно оценить вероятностью безотказной работы. В этом случае надежность сложной системы оценивают показателем эффективности [3]. Под показателем эффективности сложной системы понимают такую числовую характеристику системы, которая оценивает степень приспособленности системы к выполнению поставленных перед нею задач [3]. Показатели же эффективности оценивают качество сложной системы и определяются процессом ее функционирования.

Поэтому для оценки надежности (или эффективности) става ленточного конвейера необходимо изучить процесс его функционирования, то есть поддержания его работоспособности.

Представим став в виде системы из n - параллельно соединенных элементов (роlikоопор) с интенсивностью отказов и восстановления λ_p и μ_p - соответственно. Тогда процесс функционирования става ленточного конвейера можно представить в виде марковского процесса гибели и размножения [4].

Пусть $P_k(t)$ - вероятность того, что в ставе в момент в времени t не работают k роlikоопор. Тогда вероятность того, что за бесконечно малое время Δt в ставе, имеющем $(k-1)$ неработающих роlikоопор, откажет еще одна роlikоопора, равна $\lambda_p \Delta t + o(\Delta t)$. А вероятность того, что за время Δt одна роlikоопора восстановится и став будет иметь k неработающих

роlikоопор, равна $\mu_p \Delta t + o(\Delta t)$. Кроме того, вероятность того, что за время Δt ни одна роlikоопора не выйдет из строя и не восстановится и в ставе останется k неработающих роlikоопор, равна $1 - (\lambda_p + \mu_p) \Delta t + o(\Delta t)$.

Тогда вероятность того, что в момент времени $t + \Delta t$ став будет иметь k неработающих роlikоопор по формуле полной вероятности равна:

$$P_k(t + \Delta t) = P_{k-1}(t) [\lambda_p \Delta t + o(\Delta t)] + P_k [1 - (\lambda_p + \mu_p) \Delta t + o(\Delta t)] + P_{k+1} [\mu_p \Delta t + o(\Delta t)]$$

В пределе $\Delta t \rightarrow 0$ получим:

$$\frac{dP_k}{dt} = \lambda_p P_{k-1}(t) - (\lambda_p + \mu_p) P_k(t) + \mu_p P_{k+1}(t), \quad (1)$$

где $k = 1, \dots, n-1$.

Для $k=0$ и $k=n$ можно получить аналогично соотношения, соответственно:

$$\frac{dP_0(t)}{dt} = -\lambda_p P_0(t) + \mu_p P_1(t), \quad (2)$$

$$\frac{dP_n(t)}{dt} = \lambda_p P_{n-1}(t) - \mu_p P_n(t). \quad (3)$$

Кроме того, для вероятностей $P_k(t)$ выполняется условие:

$$\sum_{k=0}^n P_k(t) = 1. \quad (4)$$

Уравнения (1), (2), (3) представляют собой систему линейных обыкновенных дифференциальных уравнений относительно неизвестных функций $P_k(t)$ ($k=0, 1, \dots, n$).

Задавшись начальными условиями при $t=0$, $P_0=1$, $P_k=0$, где $k=1, \dots, n$, получим решение этой системы.

На практике время работы конвейера и, следовательно, става, гораздо больше начального периода приработки.

В работе [5] показано, что для любого начального состояния системы и больших t существуют пределы:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} P_k(t) = P_k, \quad k=0, 1, \dots, n,$$

причем

$$\lambda_p < \mu_p (\lambda_p > 0, \mu_p > 0). \quad (5)$$

Переходя к пределу в системе (1)-(3), получим для стационарного режима систему алгебраических уравнений:

$$\begin{cases} 0 = \lambda_p P_{k-1} - (\lambda_p + \mu_p) P_k + \mu_p P_{k+1} \\ 0 = -\lambda_p P_0 + \mu_p P_1 \\ 0 = \lambda_p P_{n-1} - \mu_p P_n \end{cases} \quad (6)$$

где $k=1, \dots, n-1$.

Кроме того, переходя к пределу в (4), получим:

$$\sum_{k=0}^n P_k = 1 \quad (7)$$

Следовательно, при $t \rightarrow \infty$ существует единственное стационарное решение системы уравнений (1)-(3) при условии (5).

Решая систему (6) при условии (7), получим [4]:

$$P_k = \frac{\theta^k (1-\theta)}{1-\theta^{n+1}} \quad (8)$$

где $k=0, 1, \dots, n$, $\theta = \frac{\lambda_p}{\mu_p}$.

Причем, стационарное решение существует и оно единственное при $0 \leq \theta < 1$ ($\lambda_p < \mu_p$). При $\theta \geq 1$ ($\lambda_p \geq \mu_p$) стационарное решение не существует и число неработающих роликоопор возрастает до бесконечности.

Определим степень живучести става β как отношение числа допустимого количества неработающих роликоопор к их общему количеству в стае [6]:

$$\beta = \frac{n_1}{n}, \quad (9)$$

где n_1 - максимально допустимое количество неработающих роликоопор.

Задавшись уровнем надежности α , то есть вероятностью того, что число неработающих роликоопор в стае превысит n_1 или $P\{k > n_1\} = \alpha$, где k - число неработающих роликоопор в стае, представим соотношение (7) в виде:

$$P\{k \leq n_1\} + P\{k > n_1\} = 1$$

где $P\{k \leq n_1\} = \sum_{k=0}^{n_1} P_k$; $P\{k > n_1\} = \sum_{k=n_1+1}^n P_k$.

Откуда имеем:

$$P\{k \leq n_1\} = 1 - P\{k > n_1\}$$

или

$$\sum_{k=0}^{n_1} P_k = 1 - \alpha. \quad (10)$$

Подставим (8) в (10), суммируя, получим:

$$\frac{1 - \theta^{n_1+1}}{1 - \theta^{n+1}} = 1 - \alpha. \quad (11)$$

Для мощных конвейеров количество роlikоопор $n \gg 1$, поэтому, переходя в (12) к пределу $n \rightarrow \infty$, получим:

$$1 - \theta^{n_1+1} = 1 - \alpha,$$

откуда

$$\theta = \alpha^{\frac{1}{n_1+1}} \quad (12)$$

Из (12) определим по заданному λ_p интенсивность восстановления μ_p :

$$\mu_p = \frac{\lambda_p}{\alpha^{1/(n_1+1)}}. \quad (13)$$

Следовательно, задавшись степенью живучести става β и уровнем надежности α по заданному λ_p из соотношений (9) и (13) можно определить интенсивность восстановления роlikоопоры.

Из (13) видно, что чем больше интенсивность отказов роlikоопор λ_p и ниже уровень живучести, тем больше интенсивность восстановления роlikоопоры, а, следовательно, больше затрат на эксплуатацию става. Поэтому показателем эффективности работы става мощных ленточных конвейеров является интенсивность восстановления роlikоопор.

Согласно работе [5] среднее число постоянно неработающих роlikоопор в ставе равно:

$$n_c = \sum_{k=0}^{\infty} k P_k. \quad (14)$$

Подставляя в (14) P_k из (8), после суммирования получим:

$$n_c = \frac{\theta}{1-\theta} \quad (15)$$

Так, например, для конвейера $n=1000$, $n_1=50$ ($\beta=0,02$), $\alpha=0,001$ и $\lambda_p=0,6 \cdot 10^{-7} \text{ с}^{-1}$ имеем из (13):

$$\theta = (0,001)^{1/51} = 0,87$$
$$\mu_p = \frac{\lambda_p}{\theta} = \frac{0,6 \cdot 10^{-7}}{0,87} = 0,7 \cdot 10^{-7} \text{ с}^{-1}$$

Отсюда количество заменяемых роликоопор на всем конвейере в единицу времени равно:

$$n_p = 1000 \cdot 0,7 \cdot 10^{-7} = 0,7 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1} = 0,25 \text{ ч}^{-1}$$

Тогда в смену количество заменяемых роликоопор на конвейере равно:

$$8 \cdot 0,25 = 2$$

При этом, согласно формуле (14), среднее число постоянно неработающих роликоопор на конвейере равно:

$$n_c = \frac{0,87}{1-0,87} = 7$$

Разработанная модель надежности става ленточного конвейера на основе процесса гибели и размножения позволила определить показатели эффективности его работы, обосновать эффективную систему обслуживания конвейера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шахмейстер Л.Г., Дмитриев В.Г. Вероятностные методы расчета транспортирующих машин.-М.:Машиностроение, 1983.-255с.
2. Флейшман Б.Г. О живучести сложных систем // Изв. АН СССР Техническая кибернетика.-М., 1966.-№5.-С.14-16.
3. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем.- М.: Машиностроение, 1978.-399с.
4. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности.-М.:Наука, 1965.-524с.

5. Саати Т. Элементы теории массового обслуживания и ее приложения.-М.: Советское радио, 1965.-508с.

6. Шевченко А.В., Кирия Р.В. Надежность и живучесть конвейерного става // Совершенствование горных машин.-Киев.: Наукова думка, 1987.- С.24-27.

УДК 622.778:621.328.8:532.5

Е.С. Лапшин, И.А. Шевченко

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ОЧИСТКИ ОБОРОТНОЙ ВОДЫ В УСТРОЙСТВЕ ДЛЯ СМЫВА МАГНИТНОГО ПРОДУКТА С ЗУБЧАТЫХ ПЛАСТИН СЕПАРАТОРА

Описано принцип дії пристрою для змиву магнітного продукту з одночасною очисткою зворотної води. Експериментально вивчено вплив на якість очищуваної зворотної змивної води геометричних параметрів конусоподібного тіла і витрат. Показана можливість очистки зворотної води від часток крупністю $-1+0,63$ мм на 80-90 %, а частки більше 1 мм вилучаються практично повністю. Іл. 2. Табл. 1. Бібліогр.: 5 найм.

При обогащении тонкозернистых руд, основанном на использовании высокоградиентных роторных магнитных сепараторов, для удаления магнитного продукта с ферромагнитных зубчатых пластин применяются смывные устройства. Для смыва используется обратная вода, в которой содержатся посторонние включения: крупные частицы ржавчины, руды, черепняка и т.п., крупностью, как правило, $+1$ мм (далее - частицы). Поэтому существует необходимость в защите от засорения этими частицами рабочей зоны сепаратора. Анализ конструкций смывных устройств, использующихся как у нас в стране, так и за рубежом, позволяет сделать вывод о том, что они имеют невысокую эффективность работы и не обеспечивают защиту рабочей зоны сепаратора от засорения частицами [1].

Известны пленочные классификаторы, которые можно использовать и для очистки жидкости, но их применение сдерживается высокой