

2. Пат. 2006433 РФ, МКИ 5В 65G 15/14. Ленточный конвейер / Овсянников Ю.С., Петришина Е.Г., Гурьева В.О.-№5007444/03; Заявл. 26.09.91; Опубл. 30.01.94, Бюл. №2.-4с.

УДК 622.647.2

А.Н. Смирнов

## ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СТАВА ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА И НЕОБХОДИМОГО УРОВНЯ ЕГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Зроблена оцінка терміну служби роликкоопори стрічкового конвейєру. На основі моделі надійності става стрічкового конвейєру як системи із паралельно з'єднаних елементів (роликкоопор) з відновленням знайден параметр обслуговування става і дані його залежності від продуктивності і довжини конвейєру. Це дозволяє обґрунтувати систему обслуговування става конвейєру для підтримування необхідного рівня його надійності. Лі. 2. Бібліогр.: 4 найм.

Став конвейєра є роликкооперами - важная часть ленточного конвейєра от технического состояния которой зависит надежность конвейєра в целом.

Надежность става определяется надежностью роликов роликкоопор, так как надежность несущих металлоконструкций на порядок выше. Таким образом, став рассматриваем как систему большого количества элементов (роликкоопор с роликами), причем отказ элемента не приводит к отказу всей системы, а только к снижению эффективности ее функционирования.

Срок службы одного ролика определяется сроком службы подшипников, так как анализ отказов става ленточного конвейєра показал, что основными причинами отказа ролика являются увеличенный радиальный зазор в подшипнике вследствие абразивного изнашивания и усталостное разрушение элементов подшипника от воздействия динамических нагрузок [1].

90% - ный ресурс подшипников качения при постоянной во времени нагрузке, согласно работе [1], определяется из выражения:

90% - ный ресурс подшипников качения при постоянной во времени нагрузке, согласно работе [1], определяется из выражения:

$$t_{09} = \left( \frac{C_n}{F} \right)^{m_n} \frac{10^6}{60n} k_2, \quad (1)$$

где  $C_n$  - постоянная радиальная нагрузка, которую группа идентичных подшипников может выдержать в течение срока службы, исчисляемого в 1 млн оборотов (берется из справочника);

$F$  - нагрузка на подшипник;

$n$  - частота вращения;

$m_n$  - степенной показатель ( $m_n = 3$  для шарикоподшипников и  $m_n = 10/3$  для роликоподшипников);

$k_2$  - коэффициент условий эксплуатации.

Средний ресурс подшипника, согласно [2], определяем из соотношения:

$$t_{cp} = 4,08 \cdot t_{09}. \quad (2)$$

Рассматриваем ролик как систему из двух последовательно соединенных элементов (подшипников), то есть отказом считается ситуация, когда нарушается работоспособность хотя бы у одного из подшипников.

Положим, что вероятность безотказной работы подшипника приближенно задается экспоненциальным законом:

$$P_n = e^{-\lambda_n t}, \quad (3)$$

где  $\lambda_n$  - опасность отказа:

$$\lambda_n = \frac{1}{t_{cp}}. \quad (4)$$

Тогда для роликоопоры, состоящей из двух боковых и одного среднего ролика, имеем:

$$P = P_c^2 \cdot P_b^2 \cdot P_o = e^{-(2\lambda_c + 4\lambda_o)t}, \quad (5)$$

где  $P_c, P_b$  - вероятность безотказной работы, соответственно, среднего и бокового ролика;

$\lambda_c, \lambda_b$  - опасность отказа среднего и бокового роликов.

Срок службы роликоопоры:

$$T_{cp} = \frac{1}{2\lambda_c + 4\lambda_b} = \frac{t_{cp_c} \cdot t_{cp_b}}{2t_{cp_b} + 4t_{cp_c}}, \quad (6)$$

где  $t_{cp_c}, t_{cp_b}$  - средний срок службы среднего и бокового роликов.

Для вычисления  $t_{cp}$  используем зависимости для статической радиальной нагрузки на подшипники среднего и бокового роликов [3]:

$$F_c = 0,5 \left[ 0,7(q_n + q)gl_p + 0,33m_p g \right], \quad (7)$$

$$F_b = 0,5 \left[ 0,15(q_n + q)gl_p + 0,33m_p g \right] \cos \beta, \quad (8)$$

где  $q_n, q$  - распределенная масса ленты и груза;

$l_p$  - шаг расстановки роликоопор;

$\beta$  - угол наклона боковых роликов;

$m_p$  - масса ролика, определяется по формулам из работы [3].

Таким образом, по формулам (1) и (2) можно определить средний срок службы среднего, боковых роликов, а также всей роликоопоры в целом:

$t_{cp_c}, t_{cp_b}, T_{cp}$ .

Предположим, нам дан конвейер длиной  $L$ . Сила сопротивления при всех работоспособных роликах равна [3]:

$$N_c = (q + q_n + q_p) \omega_z L + (q_n + q_p'') \omega_x L, \quad (9)$$

где  $q_p, q_p''$  - вес вращающихся частей роликоопор грузовой и холостой ветвей соответственно;

$\omega_z, \omega_x$  - сопротивление движению грузовой и холостой ветвей.

Допустим  $n_x$  - количество заторможенных роликоопор. Тогда сила сопротивления движению участка става из этих роликоопор:

$$N_T = (q + q_n) f \cdot n_x l_p \quad (10)$$

где  $f$  - коэффициент трения металл - резина.

Общая сила сопротивления в этом случае:

$$N_c' = (q + q_n) f \cdot l_p n_x + (q_c + q_n + q_p') L_0 \omega_c + (q_n + q_p'') \omega_x L, \quad (11)$$

где  $L_0 = L - n_x l_p$  - длина участка става конвейера из работающих роликоопор.

По техническим условиям эксплуатации ленточных конвейеров предельно допустимое превышение мощности привода при длительной эксплуатации составляет 25%, а это происходит в случае повышения сопротивления движению на 25% или потере работоспособности 25% роликоопор, то есть запишем:

$$\frac{N_c' - N_c}{N_c} = 0,25. \quad (12)$$

Подставив в (12) выражения (9) и (11), определим максимально допустимое количество нерабочих роликоопор  $n_x$  по формуле:

$$n_x = \frac{0,25 [(q + q_n + q_p') \omega_c L + (q_n + q_p'') \omega_x L]}{(q + q_n + q_p') (f - \omega_c) l_p} \quad (13)$$

Представим став конвейера как систему из параллельно соединенных элементов (роликоопор) (рис. 1). Решим задачу надежности системы с параллельным соединением элементов и восстановлением (то есть в процессе работы часть роликов, вышедших из строя, заменяется новыми для поддержания заданного уровня надежности).

Если предположить [4], что время работы и восстановления элементов распределены по экспоненциальному закону, описание системы сводится к изучению некоторого однородного марковского процесса с конечным или с четным числом состояний.

$$P_k = \frac{\theta^k}{1 + \theta + \dots + \theta^n} \quad (14)$$

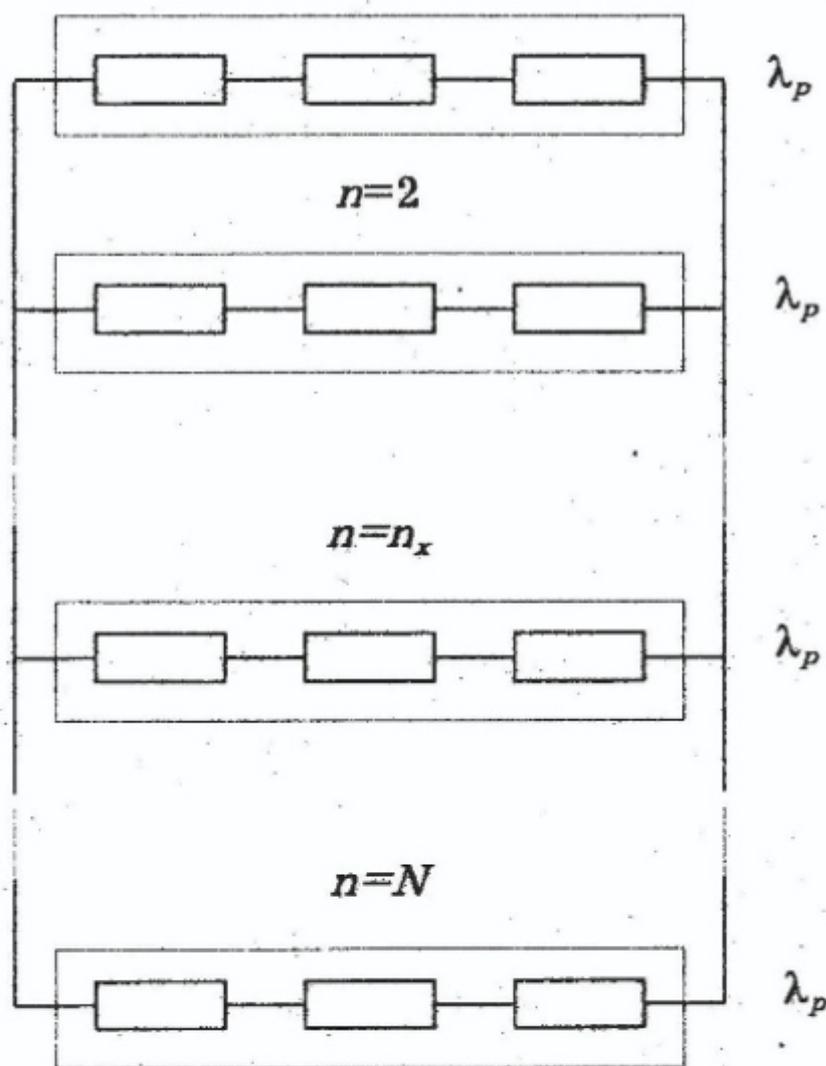


Рис. 1

Пусть  $\lambda_p = 1/T_{cp}$  - интенсивность отказов роликоопоры или среднее число отказов одной роликоопоры в единицу времени,  $\mu_p$  - интенсивность восстановления, то есть среднее число замен одной роликоопоры в единицу времени,  $\theta = \lambda_p / \mu_p$  - параметр состояния системы. Тогда вероятность того, что система, находясь в стационарном состоянии, имеет  $k$  отказавших роликоопор, согласно работе [4], определяется выражением (14).

Для того, чтобы определить  $\mu_p$ , то есть количество замен одной роликоопоры в единицу времени для обеспечения заданного уровня надежности  $P_k$ , необходимо из уравнения (14) найти  $\theta$ .

Если максимально допустимое количество нерабочих роликоопор  $n_x$ , а их общее количество на конвейере  $N$ , то уравнение (14) примет вид:

$$P_{n_x} = \frac{\theta^{n_x} (1-\theta)}{1-\theta^{N+1}} \quad (15)$$

Для заданного уровня надежности  $P_k = \alpha$  и значений параметров  $n_x$ ,  $N$ ,  $\lambda_p$  из уравнения (15) можно определить  $\theta$ , а, следовательно, интенсивность восстановления  $\mu_p$  по формуле:

$$\mu_p = \frac{\lambda_p}{\theta} \quad (16)$$

Исследование уравнения (15) показало, что решения, имеющие физический смысл (то есть устойчивые) изменяются в пределах  $0 < \theta < 1$ , и не для каждого значения  $\alpha$  при заданных  $n_x$ ,  $N$ ,  $\lambda_p$  решение уравнения (15) существует. Кроме того, при некотором значении  $\theta$  или  $\mu_p$  уровень надежности  $\alpha$  имеет максимум. Это означает, что при заданных параметрах конвейера  $n_x$ ,  $N$ ,  $\lambda_p$  вероятность выхода из строя предельного количества роликоопор  $n_x$  не превышает некоторого значения. Эта максимальная вероятность уменьшается с увеличением числа роликоопор на конвейере (то есть с увеличением его длины). Так, например, для  $N=1000$  и  $n_x=20$  область допустимых значений для  $\alpha$  составляет  $[0; 0,018]$ . Следовательно, уровень надежности става этого конвейера не может быть ниже, чем 0,018, то есть при  $\alpha > 0,018$  став конвейера надежен.

На графике (рис. 2) даны зависимости интенсивности восстановления роликоопор конвейера  $\mu_p$  от погонной массы груза  $Q_p$  при различных длинах конвейера  $L$  для уровня надежности  $\alpha=0,0025$  и исходных данных конвейера: скорость ленты  $v=2,5$  м/с, шаг расстановки грузовых роликоопор  $l_p=1$  м, угол наклона боковых роликов  $\beta=30^\circ$ , ширина ленты  $B=1500$  м, коэффициенты сопротивления движению  $\omega$ ,  $\omega_x=0,025$ ,

$f=0,5$ , диаметр ролика  $D_p=0,16$ м, погонный вес ленты  $q_n=100$  кг/м,  $C_n=5720$  кГс и т.д.

$$\alpha=0,0025$$

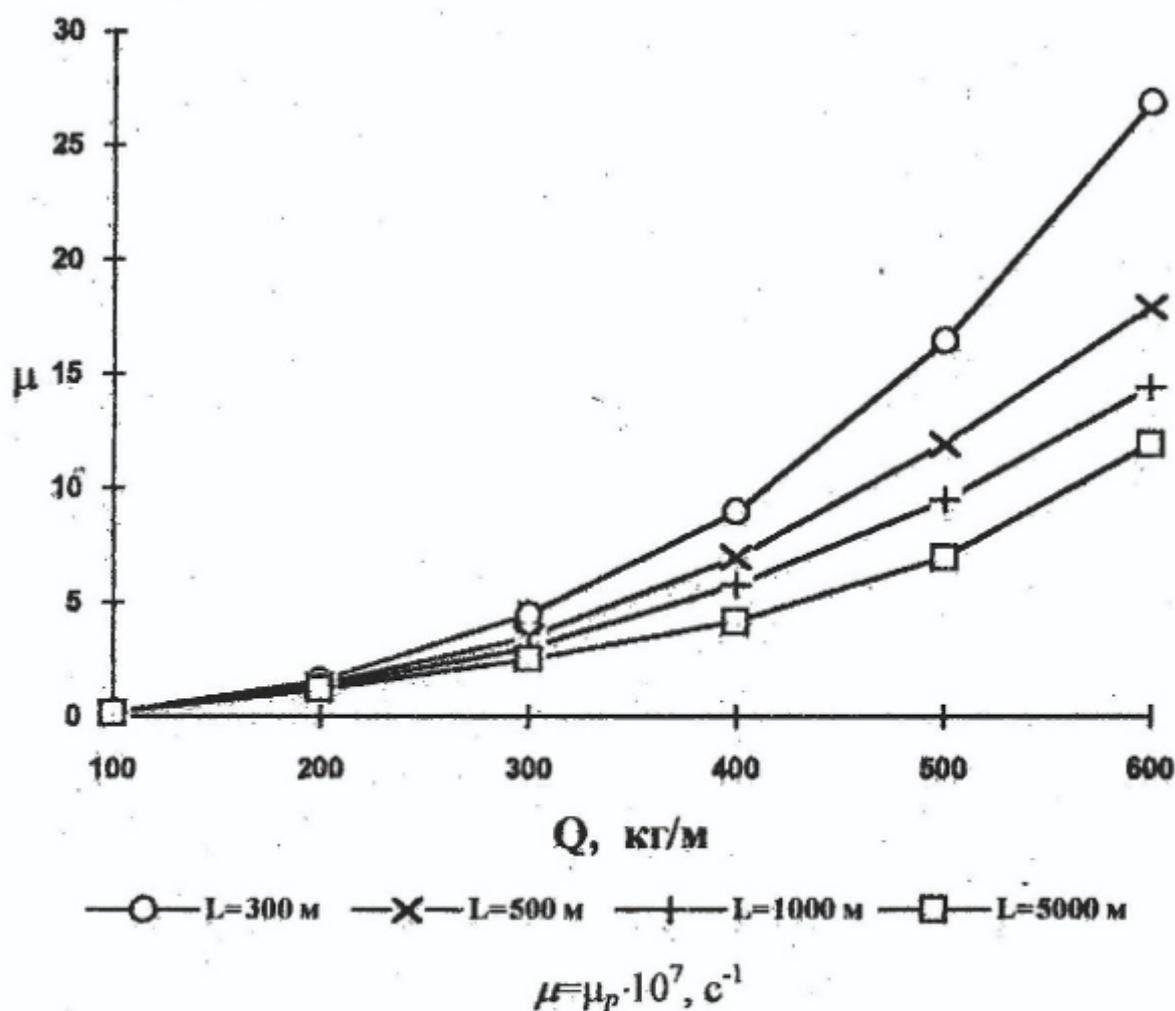


Рис. 2

Из графиков видно, что для коротких конвейеров количество замен одной роlikоопоры в единицу времени больше (хотя общее количество замен на конвейере в единицу времени  $\mu_p \cdot N$  меньше), а также это количество увеличивается при увеличении погонного веса груза.

Следовательно, с увеличением длины конвейера  $\mu_p$  уменьшается и надежность става увеличивается. Это объясняется тем, что вероятность

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

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