

А. В. ЯВТУШЕНКО, канд. техн. наук, доц., ЗНТУ, Запорожье

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ КЛИНОРЕМЕННЫХ ПЕРЕДАЧ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРЕССОВ ПУТЕМ НАГРУЖЕННОГО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ

Рассмотрены вопросы повышения надежности клиноременных передач механических прессов путем нагруженного резервирования. Поучены зависимости для расчета средней долговечности отдельных ремней и всей системы при заданной кратности резервирования. Применение нагруженного резервирования повышает долговечность клиноременных передач механических прессов более чем в три раза.

Ключевые слова: пресс, передача, ремни клиновые, надежность, долговечность, отказ, экспоненциальный закон, закон Вейбулла, резервирование нагруженное.

Введение. Практика эксплуатации механических прессов показывает недостаточную долговечность клиноременных передач. Преждевременный отказ одного или нескольких ремней приводит к снижению запаса кинетической энергии привода, что в свою очередь снижает энергетические возможности пресса и создает опасность отказа пресса в целом из-за заклинивания главного исполнительного механизма. Повышение долговечности клиноременной передачи пресса является важной задачей, обеспечивающей увеличение надежности всего пресса.

Анализ исследований и цель работы.

Одним из методов повышения надежности систем является резервирование. Суть резервирования состоит в том, что в системе увеличивается количество элементов, которые включаются в работу и начинают выполнять функции основных при отказе любого одного из последних [1]. Элементы системы, обеспечивающие ее номинальную работоспособность, называются основными, а дополнительные элементы – резервными. Вся совокупность основных и резервных ремней называется резервной группой. В зависимости от состояния резервных элементов до их включения в эксплуатацию различают нагруженное, ненагруженное и облегченное резервирование. Применительно к клиноременным передачам возможно только нагруженное резервирование, когда резервные ремни выполняют те же функции, что и основные ремни и после отказа одного из них резервный ремень становится основным. По сути, в процессе работы передачи нет разницы между тем, какие ремни являются основными, а какие резервными. При анализе надежности систем с резервированием возникают задачи определения момента отказа всей системы, долговечности работы всей резервной группы и рациональной степени резервирования.

Показателями надежности передачи в целом и отдельных ремней в частности являются средний ресурс T_{cp} , количество отказов в единицу времени λ и вероятность безотказной работы при заданной наработке $P(t)$.

Функция $P(t)$ представляет собой безусловную вероятность того, что до момента времени t не наступит отказ элемента [1]. Обычно функцию $P(t)$ называют

функцией надежности. Производная функции надежности $P'(t)$ представляет собой безусловную вероятность наступления отказа в заданном промежутке времени и называется плотность вероятности отказов. Соотношение

$$\lambda = P'(t) / P(t)$$

представляет собой важный показатель надежности, называемый *опасностью отказа* и являющийся вероятностью того, что элемент, проработавший безотказно до момента t , откажет в последующую единицу времени.

Среднее время жизни элемента, т. е. среднее время безотказной работы:

$$T_p = \int_0^{\infty} tq(t)dt.$$

Вычисляя интеграл по частям, находится

$$T_p = \int_0^{\infty} P(t)dt.$$

Надежность клиноременной передачи, как системы не зависит от изменения надежности составляющих элементов и остается постоянной, т. е. полагается, что процесс старения системы отсутствует, а дефектные элементы выходят из строя в период приработки. В таком случае $\lambda(t) = \lambda = const$ и функция надежности описывается т. н. экспоненциальным законом

$$P(t) = e^{-\lambda t},$$

а плотность вероятности отказов

$$q(t) = \lambda e^{-\lambda t}.$$

Среднее время безотказной работы элемента при экспоненциальном законе

$$T_p = \frac{1}{\lambda}. \quad (1)$$

Экспоненциальный закон надежности обеспечивает простое решение многих задач в теории надежности, и находит применение в технических расчетах. Такой закон надежности хорошо описывает *внезапные* отказы.

Надежность как основных, так и резервных ремней не зависит от того, в какой момент они включаются в работу, т. е. не зависит от моментов отказа других ремней. Однако известно, что в процессе эксплуатации клиновых ремней происходит изменение их механических и эксплуатационных свойств, изменение структуры внутреннего строения, т. е. имеет место старение ремней. Отказы, возникающие в результате износа и старения элементов, не подчиняются экспоненциальному закону, т. к. их надежность со временем должна изменяться. Эти отказы, называемые *постепенными*, хорошо описываются законами, среди которых наибольшее распространение получил двухпараметрический закон распределения Вейбулла [1]

$$P(t) = e^{-\lambda t^\alpha}.$$

Основным достоинством этого закона является дополнительный параметр α , отражающий интенсивность старения элемента, при условии, что опасность отказа λ является постоянной величиной.

Среднее время жизни элемента (ремня)

$$T_p = \frac{\Gamma(1+1/\lambda)}{\lambda^{1/\alpha}}. \quad (2)$$

Функция $\Gamma(z)$ представляет собой т. н. гамма-функцию

$$\Gamma(z) = \int_0^{\infty} e^{-t} t^{z-1} dt.$$

Таким образом, надежность элемента характеризуется двумя количественными показателями λ и α , значения которых могут быть определены только по результатам испытаний. Надежность системы, состоящей из нескольких элементов, определяется надежностью составляющих элементов и условиями отказа системы.

Целью настоящей статьи является анализ возможности повышения надежности клиноременных передач механических прессов путем нагруженного резервирования. Ставится задача определения надежности работы всего привода до момента отказа и определение количества резервных ремней, обеспечивающих требуемую долговечность.

Результаты исследований. Клиноременная передача пресса в целом рассматривается как система, состоящая из z_{Σ} элементов (ремней), т. е. представляет собой сумму z_N основных ремней и z_R резервных ремней $z_{\Sigma} = z_N + z_R$. Количество z_N основных ремней определяется по известной методике расчета [2, 3, 4] и обеспечивает номинальные показатели функционирования привода пресса, т. е. заданную угловую скорость ведомого шкива и передачу номинальной нагрузки. Надежность клиноременной передачи, как системы, определяется в первую очередь надежностью ремней и условием наступления отказа всей передачи.

Обычно считается, что отказ системы без резервирования происходит при отказе одного из элементов. Если средний ресурс работы i -го ремня T_i , тогда среднее время работы передачи T_n до первого отказа составляет [1]

$$T_n = \frac{1}{\sum_{i=1}^{z_N} \frac{1}{T_i}}.$$

В частном случае, когда все ремни имеют одинаковую надежность, т. е. $T_i = T_p = const$, ресурс работы передачи при экспоненциальном законе надежности будет

$$T_n = \frac{T_p}{z_p}, \quad (3)$$

где T_p – среднее время работы одного ремня до отказа по (2).

Ввиду отсутствия в технической литературе достоверных данных по значениям показателей надежности, в том числе и для клиновых ремней механических прессов, был проведен анализ долговечности клиноременных передач листоштамповочных и горячештамповочных прессов в условиях действующего производства на трех предприятиях. Установлено, что в первом приближении можно принимать для ременных передач листоштамповочных прессов $\lambda = 2,97 \pm 4,5 \cdot 10^{-5}$, для ременных передач горячештамповочных прессов $\lambda = 3,65 \pm 7,6 \cdot 10^{-5}$. Среднее значение параметра старения α составляет 1,015...1,05. При этом большие значения принимаются для прессов с меньшим номинальным усилием и большим передаточным отношением клиноременной передачи. Очевидно, что даже при достаточно большой долговечности работы отдельного ремня долговечность передачи в целом может быть невысокой, особенно при большом числе ремней, поэтому необходимы мероприятия по ее повышению.

Отказ системы с резервированием элементов наступает тогда, когда наступает z_N -й отказ и количество оставшихся элементов равно z_N . В общем случае можно

принять, что отказ одних из ремней не изменяет надежности других и надежность всех ремней одинакова, т. е. ремни равнонадежны и $\lambda(t) = \lambda = const$.

Процесс отказов системы с резервированием описывается теоретико-вероятностной схемой, которая представляет собой процесс постепенного выхода из строя отдельных элементов и изменение надежности системы в результате этих отказов. Такой поток отказов называют *схемой гибели* [1].

К моменту наступления первого отказа резервной группы функционируют все z_{Σ} ремней. Опасность того, что к моменту времени t произойдет первый отказ $\lambda_1 = z_{\Sigma}\lambda$. После первого отказа в работе остаются $z_{\Sigma} - 1$ ремней и опасность второго отказа $\lambda_2 = (z_{\Sigma} - 1)\lambda$. В общем случае опасность k -го отказа

$$\lambda_k = (z_{\Sigma} - k + 1)\lambda, \quad k = (1, 2, \dots, z_{\Sigma}), \quad \lambda_{z_{\Sigma}+1} = 0.$$

Таким образом, схема гибели описывает процесс изменения надежности системы по мере отказов составляющих элементов.

Ненадежность системы, т. е. вероятность того, что к моменту t произойдет ее окончательный отказ, при надежности элементов близкой к единице и небольшом значении z_{Σ} определяется по приближенной формуле

$$Q(t) = C_{z_{\Sigma}}^{z_N-1} (\lambda t)^{z_{\Sigma}-z_N+1}. \quad (4)$$

При невысокой надежности элементов ненадежность системы определяется по формуле

$$Q(t) = \sum_{k=z_{\Sigma}-z_N+1}^{z_{\Sigma}} C_{z_{\Sigma}}^k (1 - e^{-\lambda t})^k e^{-(z_{\Sigma}-k)t}.$$

Долговечность работы передачи до момента отказа z_R ремней есть сумма времен между отдельными отказами

$$T_n = \frac{1}{z_{\Sigma}\lambda} + \frac{1}{(z_{\Sigma}-1)\lambda} + \dots + \frac{1}{z_N\lambda}. \quad (5)$$

Если z_N и z_R больше 5...6, то приближенно

$$T_n \approx \frac{1}{\lambda} \ln \left(\frac{z_{\Sigma} + 0,5}{z_N - 0,5} \right). \quad (6)$$

Для сравнения укажем, что долговечность всей резервной группы до отказа всех элементов определяется по формуле

$$T_n = \frac{1}{\lambda} \left(1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{z_{\Sigma}} \right) \approx \frac{1}{\lambda} \left(\ln z_{\Sigma} + 0,57712 + \frac{1}{2z_{\Sigma}} \right). \quad (7)$$

Из (6) можно следует, что необходимая кратность резервирования, т. е. количество дополнительных резервных элементов для обеспечения заданного ресурса работы T_o всей передачи до полного отказа (отказа z_R ремней) равна

$$z_R = (z_{\Sigma} - 0,5) (e^{T_o \lambda} - 1) - 1. \quad (8)$$

Для примера на рисунке показана зависимость среднего времени безотказной работы T_n клиноременной передачи горизонтально-ковочной машины (ГКМ) В-111 от числа z_R резервных ремней. Передача ГКМ содержащей 8 ремней сечения C (z_N). Коэффициент старения α принят равным 1,015, опасность отказов $\lambda = 4 \cdot 10^{-4}$.

Средняя долговечность одного ремня по (2) составляет 1974 ч. При отсутствии

резервирования время работы системы T_n до первого отказа по (3) составляет 312 ч.

При кратности резервирования $z_R = 1$ время безотказной работы увеличивается до 591 ч, при $z_R = 2$ составляет 841 ч, а при $z_R = 3$ составляет 1069 ч, т. е. увеличивается более чем в 3,4 раза.

Из (6) и рисунка следует, что эффективность резервирования возрастает при небольших значениях числа основных ремней z_N . Для сравнения укажем, что при экспоненциальном законе надежности долговечность одного ремня по (1) составляет 2500 ч, а долговечность передачи без резервирования до отказа всех ремней по (7) составляет 6795 ч.

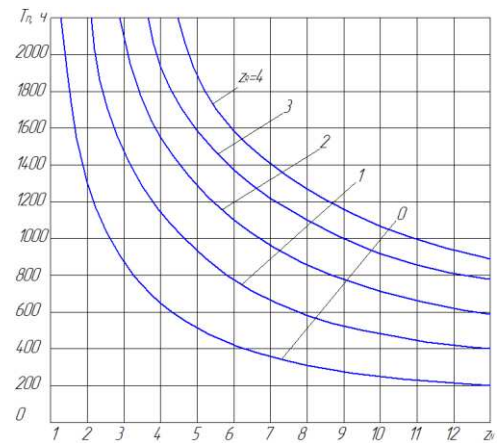


Рис. – Зависимость времени безотказной работы клиноременной передачи ГКМ В-111 от величины резервной группы

Выводы

1. Долговечность клиноременных передач механических прессов определяется совокупностью технических параметров, зависящих от качества ремней и условий их эксплуатации.

2. Эффективным направлением повышения надежности клиноременных передач является использование нагруженного резервирования. Увеличение номинального количества ремней при допустимом отказе нескольких из них увеличивает долговечность клиноременной передачи более чем в два–три раза.

Список литературы: 1. Гнеденко, Б. В. Математические методы в теории надежности / Б. В. Гнеденко, Ю. К. Беляев, А. Д. Соловьев. – М.: Наука, 1965. – 524 с. 2. Явтушенко, О. В. Проективання та розрахунок кривошипних пресів. Курсове проектування / О. В. Явтушенко, А. В. Глебенко, Т. О. Васильченко. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2012. – 436 с. 3. Пронин, Б. А. Бесступенчатые клиноременные и фрикционные передачи (вариаторы) / Б. А. Пронин, Г. А. Ревков. – М.: Машиностроение, 1980. – 320 с. 4. Буланов, Э. А. Расчет ременных передач // Вестник машиностроения. – 2001, – № 12. – С. 14–21.

Поступила в редколлегию 10.09.2013

УДК 621.852.13: 621.73

Повышение надежности клиноременных передач механических прессов путем нагруженного резервирования/ Явтушенко А. В. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2013. - № 56 (1029). – С. 3-7. – Бібліогр.: 4 назв.

Розглянуті питання підвищення надійності клинопасових передач механічних пресів шляхом навантаженого резервування. Отримані залежності для розрахунку середньої довговічності окремих ремнів і всієї системи при заданій кратності резервування. Застосування навантаженого резервування підвищує довговічність клинопасових передач механічних пресів більш ніж в три рази.

Ключові слова: прес, передача, ремені клинові, надійність, довговічність, відмова, експоненціальний закон, закон Вейбулла, резервування навантажене.

The questions of increase of reliability of V-belt transmissions of mechanical presses are considered by the loaded backuping. Dependences are for the calculation of middle longevity of separate straps and all of system at set multipleness of backuping. Application of the loaded backuping is promoted by longevity of V-belt transmissions of mechanical presses more than in three times.

Keywords: press, transmission, straps are a wedge, reliability, longevity, refuse, exponential law, law of Veybullla, backuping loaded.