

Н. В. Куцубиной. – Екатеринбург : Уральск. гос. лесотехн. ун-т, 2009. – 416 с.

2. Куцубина Н. В., Санников А. А. Виброзащита технологических машин и оборудования лесного комплекса. – Екатеринбург : Уральск. гос. лесотехн. ун-т, 2008. – 212 с.

A. A. Sannikov, DSc in Engineering, Professor, Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg

N. V. Kutsubina, PhD in Engineering, Associate Professor, Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg

V. A. Dubatovk, Krasnokamsk paper-mill “Goznak”, Ekaterinburg

T. V. Kalimulina, Post-graduate, Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg

I. V. Pereskokov, Post-graduate, Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg

Methods of Forecasting the Vibration State of Papermaking Machines at Their Speed Planned Increase

The paper substantiates the need to forecast the vibration state of papermaking machines in order to improve their performance when upgrading. Forecasting methods tested at dozens of various-purpose papermaking machines are discussed.

Key words: papermaking machines, vibration, forecasting.

УДК 676.004.86

В. П. Сиваков, доктор технических наук, профессор, Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург

В. И. Музыкантова, Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург

Ю. М. Гребенщиков, аспирант, Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург

ПРИМЕНЕНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ГРАФОВ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ РЕСУРСА НАРАБОТКИ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ОБОРУДОВАНИЯ

Диагностическими графами технического состояния оборудования определяются уровни работоспособного состояния «допустимо», «неудовлетворительно» и «предотказно». Диагностическое определение ресурса наработки для состояния «неудовлетворительно» и вывод оборудования на ремонт при неудовлетворительном состоянии снижают вероятность отказов в режиме обслуживания оборудования по состоянию.

Ключевые слова: диагностический граф, кортеж диагноза, ресурс, наработка, маршрут.

Иntenсивности перехода из одного технического состояния (ТС) в другое для ориентированных стрелок элементов (сборочных единиц, механизмов, простейших машин) λ_i определяются методами теории надежности или экспериментально [1]. Например, переход элемента из ТС v_0 в v_1 происходит, когда ухудшается ТС узла I до оценки $v_i \notin [v]$ (рис. 1).

Известно [2, 3], что время безотказной работы узлов, ТС которых зависит от износа, определяется экспоненциальным законом надежности. Интенсивности λ_i графа $G(V, \Lambda)$ постоянны, если они являются функциями факторов экспоненциального закона.

Для элементов, состоящих из диагностируемых узлов, интенсивность изменения λ определяется как сумма интенсивностей изменений ТС узлов [4]:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i, \tag{1}$$

где λ_i – интенсивность перехода i -го узла из ТС «допустимо» $[V]$ в ТС «неудовлетворительно» IN .

Календарная продолжительность эксплуатации элемента между вершинами диагностических графов

(ДГ) определяется интенсивностью перемещения λ из одного уровня работоспособного ТС в другой.

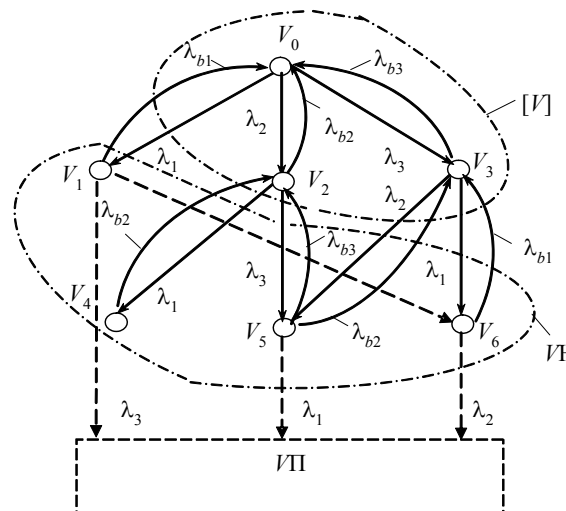


Рис. 1. Диагностический граф $G(V, \Lambda)$ изменения технического состояния элемента: $[V]$, IN , IP – подмножества, соответственно, вершин допустимых, неудовлетворительных, предотказных ТС

Остаточный ресурс как суммарную наработку элементов от момента установления диагноза до перемещения в предельное состояние определяют по маршрутам наработки ДГ. Граф, например для элемента (см. рис. 1), может быть представлен в виде маршрутов наработки со стоком в вершине ИП, характеризующейся кортежем диагноза предельного ТС. В процессе наработки элемента его ТС ухудшается, что отражается в перемещении кортежа диагноза из вышестоящих вершин ДГ в нижестоящие.

Кортеж диагноза элемента за период наработки от допустимого ТС до неудовлетворительного проходит путь по ДГ от вершины V_0 до вершины α_{ij} , $\overline{1, \dots, n}$. Принимаем, что ТС элемента в начале эксплуатации или при возобновлении эксплуатации после ремонта по ДГ соответствует уровню вершины

V_0 . Вершины α_{ij} соответствуют неудовлетворительному ТС элемента.

Минимальный период времени, за который кортеж диагноза элемента может переместиться по ДГ из вершины, определенной в момент контроля ТС, в одну из возможных вершин неудовлетворительного ТС, определяет ресурс эксплуатации элемента в работоспособном ТС. Суммарная наработка элемента от момента установления диагноза его ТС до момента перемещения в предельное состояние характеризует остаточный ресурс.

Рассмотрим ориентированный граф $G(V, d)$ (далее орграф) наработки элемента (рис. 2, а). Для орграфа $G(V, d)$ чередующаяся последовательность вершин и дуг $V_0; d_1(V_0, V_2); V_2; d_2(V_2, V_4); V_4; d_{pa1}(V_4, ИП)$ называется маршрутом наработки. Орграф наработки $G(V, d)$ состоит из M_G различных маршрутов наработки.

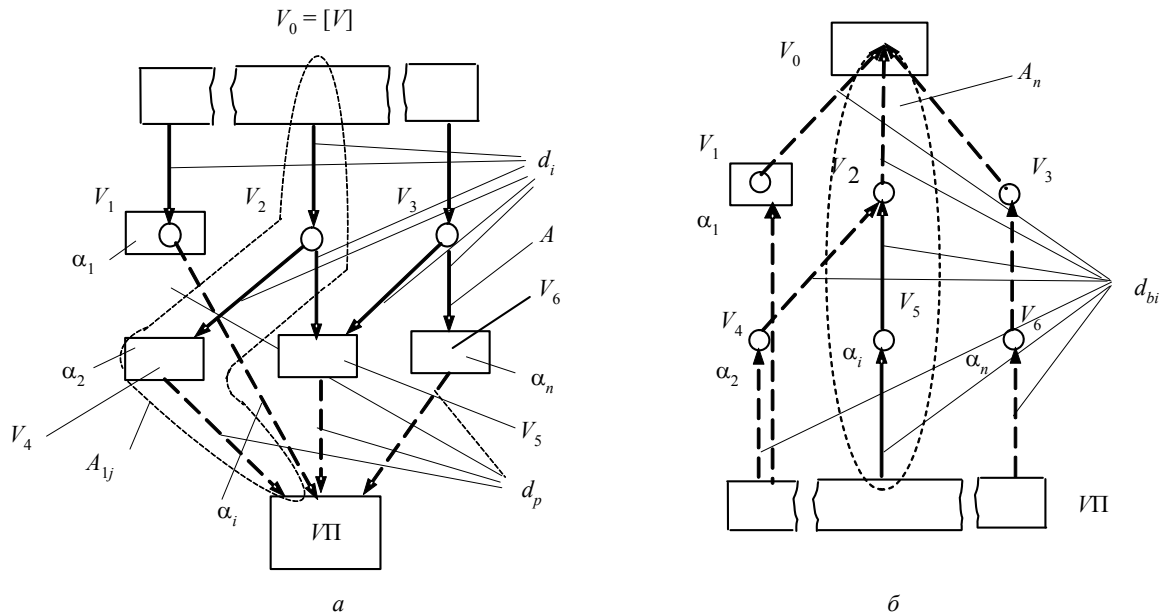


Рис. 2. Орграфы изменения технического состояния элемента: а – наработки на отказ; б – восстановления работоспособности

Обозначим: α_i ($i = \overline{1, \dots, n}$) – вершина i -го стока остова в неудовлетворительное состояние; A_{ij} ($j = \overline{1, \dots, m}$) – j -й маршрут перемещения ТС элемента в вершину α_i стока. Каждая из вершин α_i неудовлетворительного ТС элемента достижима из вершины V_0 начального ТС элемента по одному из A_{ij} маршрутов.

Количество маршрутов со стоком в вершине α_i :

$$M_{\alpha_i} = \sum_{j=1}^m A_{ij}.$$

Количество маршрутов наработки орграфа $G(V, d)$ со стоками в неудовлетворительное ТС:

$$M_G = \sum_{\alpha_i=1}^n M_{\alpha_i}.$$

Возможные маршруты наработки для ДГ элемента с тремя диагностируемыми узлами двухуровневой иерархии приведены на рис. 1, где узел 1 относится к верхнему уровню иерархии. Коэффициент r обслуживания элемента равен единице. Граф $G(V, \Lambda)$, $r = 1$ при α_j ($i = 1, 2, 3, 4$) имеет следующие маршруты наработки A_{ij} : $A_{11}, A_{21}, A_{31}, A_{41}, j = 1, 2$.

Перемещение элемента в неудовлетворительное ТС может происходить по одному из этих маршрутов (путей). Реализация маршрута наработки A_{ij} случайна и определяется при контроле по последовательным кортежам диагноза [5].

Для расчета ресурса элемента рассмотрим интенсивности маршрутов A_{ij} . Интенсивности $\lambda_G(A_{ij})$ в пределах работоспособного ТС элемента (от вершины V_0 до вершин со стоками d_i) определяем по формуле (1):

$$\lambda_G(A_{ij}) = \sum_{k=1}^N \lambda_k(d),$$

где $\lambda_k(d)$ – средняя интенсивность дуги d k -го узла на маршруте наработки A_{ij} ; N – количество диагностируемых узлов.

Интенсивность маршрутов $\lambda_n(A_{ij})$ перемещения элемента в предельное ТС от вершины V_0 до вершины VII определяем по формуле

$$\lambda_n(A_{ij}) = \lambda_G(A_{ij}) + d_{pi},$$

где d_{pi} – средняя интенсивность дуги при перемещении элемента из неудовлетворительного ТС (вершина α_{ij}) в предельное (вершина VII).

Ресурс эксплуатации элемента в работоспособном ТС определялся по минимальной наработке маршрутов:

$$t_c = \min \left\{ \frac{1}{\lambda_G(A_{ij})} \right\}, \quad i = \overline{1, \dots, n}; \quad j = \overline{1, \dots, m}. \quad (2)$$

Ресурс t_c определяет минимальный период времени от начала эксплуатации элемента или ее возобновления после ремонта до обоснования вывода на техническое обслуживание.

Остаточный ресурс элемента от момента установления диагноза в начале эксплуатации до перехода в предельное состояние определялся по формуле

$$t_{ост} = \min t_{ост} \min \left\{ \frac{1}{\lambda_n(A_{ij})} \right\}, \quad i = \overline{1, \dots, n}; \quad j = \overline{1, \dots, m}. \quad (3)$$

Опыт подконтрольной эксплуатации показывает, что после ремонта ТС элемента, соответствующее вершине V_0 , часто не достигается. При частичном восстановлении работоспособного ТС элемента после ремонта сокращается количество маршрутов и количество последовательных дуг маршрутов. В этом случае маршруты A_{ij} перехода элемента в предотказное ТС разрабатываются от достигнутой после ремонта вершины V_k . Местонахождение вершины V_k орграфа $G(V, d)$ определяется кортежем диагноза по результатам контроля ТС элемента после ремонта. Расчет интенсивностей $\lambda_G(A_{ij})$ и временных характеристик t_c , $t_{ост}$ производится по формулам (2) и (3) с учетом фактического уровня работоспособного ТС элемента. Отметим, что при частичном восстановлении уровня работоспособного ТС остаточный ресурс $t_{ост}$ и ресурс t_c элемента сокращаются. Участки маршрутов A_{ij} , эксплуатация элементов на которых может привести к отказам, обозначены штриховыми линиями на рис. 2, а.

Маршрут наработки элемента, реализующийся при эксплуатации, имеет интервал (резерв) времени t_p между t_c и $t_{ост}$. При эксплуатации ТС элемента в периоде t_p характеризуется как переходное от работоспособного при оценке ИН к работоспособному с оценкой ИП. Если элемент в период t_p не будет выведен на техническое обслуживание, отказ может произойти в режиме эксплуатации. Резерв времени t_p

для вывода элемента на обслуживание определяется при подконтрольной эксплуатации.

Для маршрута наработки A_{ij} резерв времени по выводу элемента на обслуживание определяется по формуле

$$t_p = \frac{1}{\lambda_n(A_{ij})} - \frac{1}{\lambda_G(A_{ij})}.$$

Вывод элемента на обслуживание до истечения резерва времени t_p снижает вероятность отказов при эксплуатации, а также способствует полной наработке ресурса.

Расчетные характеристики $\lambda_G(A_{ij})$ корректируются при диагностировании. Кортеж диагноза ТС элемента устанавливается по диагностическим оценкам узлов элемента [5]. Периодичность диагностирования узлов для установления кортежа диагноза ТС элемента определяется по формуле

$$\tau = \min \{ \Delta \tau_k \}, \quad k = \overline{1, \dots, N},$$

где $\Delta \tau_k$ – период контрольного диагностирования k -го узла элемента.

Орграф $G(V, d_b)$ восстановления работоспособного ТС элемента может быть представлен в виде маршрутов восстановления (A_{bi} , $i = \overline{1, \dots, k}$) со стоком в вершине V_0 (см. рис. 2, б). Маршруты восстановления состоят из последовательно чередующихся вершин и дуг орграфа $G(V, d_b)$ восстановления ДГ, например, ИП, $d_{b2} = (ИП, V_6)$; $V_6, d_{b1} = (V_6, V_3)$; $V_3, d_{b3} = (V_3, V_0)$. Вершина стока V_0 достигается из ИП по каждому из возможных маршрутов A_{bi} .

Восстановление работоспособного ТС производится с учетом иерархической структуры элемента и коэффициента обслуживания. По иерархической структуре из всех возможных маршрутов восстановления A_{bi} определяется плановый маршрут восстановления A_n . Например, для рассматриваемого ДГ элемента (см. рис. 1) узел 1 относится к верхнему уровню иерархии и подлежит первоочередному восстановлению. Плановыми являются направления по интенсивности восстановления $d_{bi} = \lambda_{b1}$, т. е. направление от вершины ИП к вершине V_1 или от вершины ИП к V_5 (см. рис. 2, б). Поскольку $r = 1$, то из вершины V_5 посредством восстановления работоспособного ТС узла 3 (дуга $d_{bi} = d_{b3}$) можно переместиться по ДГ только в вершину V_2 . В последнюю очередь по плановому маршруту восстанавливается работоспособное ТС узла 2 (дуга $d_{bn} = d_{b2}$).

Интенсивность планового маршрута восстановления ТС элемента определяется по формуле

$$\lambda_n(A_n) = \sum_{k=1}^{\ell} d_{bk},$$

где d_{bk} – интенсивности восстановления между последовательными вершинами планового маршрута; ℓ – количество дуг d_{bk} планового маршрута восстановления.

Для планового маршрута восстановления элемента (см. рис. 2, б)

$$\lambda_{в}(A_{п}) = \lambda_{в1} + \lambda_{в2} + \lambda_{в3}.$$

Время восстановления ТС элемента определяется по формуле

$$t_{в} = t_{в} = 1 / [\lambda_{в}(A_{п})].$$

При восстановлении ТС элемента от одной из вершин α_i ($i = \overline{1, \dots, n}$) неудовлетворительного ТС длина маршрутов восстановления сокращается, а количество возможных маршрутов уменьшается.

V. P. Sivakov, DSc in Engineering, Professor, Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg

V. I. Muzykantova, Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg

J. M. Grebenshchikov, Post-graduate, Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg

Application of Technical State Diagnostic Graphs at Determining the Operation and Repair Life-time of Equipment Elements

Diagnostic graphs of the equipment technical state enable to determine levels of serviceable state as "permissible", "unsatisfactory" and "prior-to-failure". Diagnostic determination of operation lifetime for "unsatisfactory" state and equipment withdrawal to repair at "unsatisfactory" state reduce the probability of failures within predictive maintenance of equipment.

Key words: diagnostic graph, diagnosis sequence, lifetime, operating time, route.

УДК 62-233.3/9

И. А. Казаков, аспирант, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

ГЕОМЕТРИЯ ПРИБЛИЖЕННОГО ВНУТРЕННЕГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ ТИПА ЭВОЛЬВЕНТА – ПЕРИЦИКЛОИДА

Рассмотрена геометрия неэвольвентного профиля зуба-перемычки, образованного нестандартным долбяком с внутренними зубьями, представлены уравнения синтеза приближенного внутреннего зацепления типа эвольвента – перициклоида.

Ключевые слова: планетарная передача, приближенное зацепление, укороченная перициклоида, нестандартный долбяк, синтез зацепления.

Безводильные планетарные передачи типа 3К выгодно отличаются от других планетарных механизмов простотой конструкции при большом передаточном отношении в одной ступени [1]. На рис. 1 представлена одна из таких передач, в которой тихоходное колесо выполнено в виде барабана с неэвольвентными зубьями-перемычками, сателлиты расположены в два ряда, фазы зацеплений центральных колес с сателлитами в одном ряду отличаются на 0,5 шага от фазы зацеплений в другом ряду.

Приближенное зацепление сателлита с тихоходным колесом в указанной передаче не всегда удовлетворяет требованиям кинематической точности и изгибной прочности зубьев-перемычек из-за отклонения профиля от обычной эвольвенты и большой глубины врезания нестандартного инструмента в заготовку колеса.

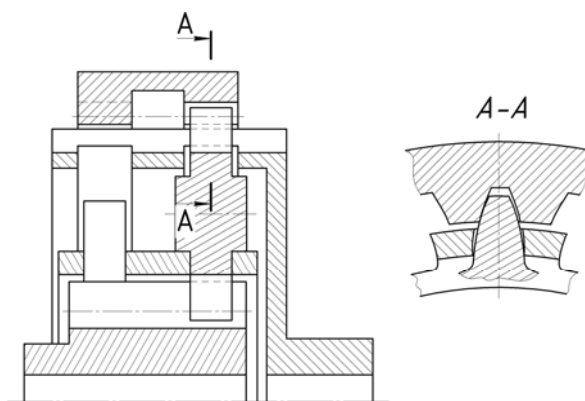


Рис. 1. Коаксиальная безводильная планетарная передача типа 3К с двухрядным расположением сателлитов

Библиографические ссылки

1. Сиваков В. П. Оценка состояния исправности оборудования целлюлозного производства на основе диагностического графа // Лесной журнал. – 2000. – № 5, 6. – С. 58–61.
2. Беляев Ю. К., Богатырев В. А., Болотов В. В. Надежность технических систем / под ред. И. А. Ушакова. – М.: Радио и связь, 1985. – 698 с.
3. Купер Дж., Матилем Л. Вероятностные методы анализа сигналов и систем; пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 376 с.
4. Муромцев Ю. Л. Безаварийность и диагностика нарушений в химических производствах. – М.: Химия, 1990. – 143 с.
5. Обоснование технического обслуживания оборудования целлюлозно-бумажного производства диагностированием / В. П. Сиваков [и др.] // Лесной журнал. – 2009. – № 3. – С. 12.